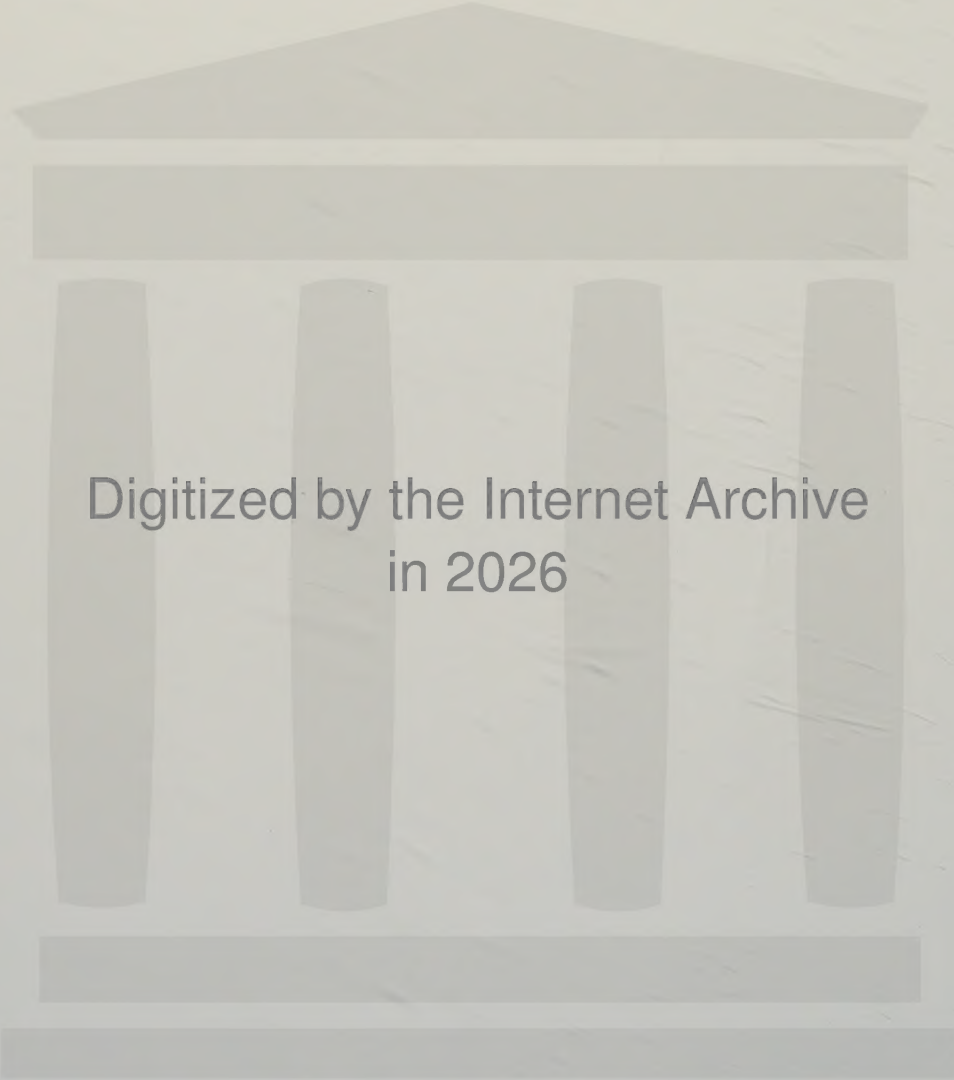




Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545303_0004

"Der Bewässerungsfeldbau im San Luis Valley/Colorado"

D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Doktorgrades

der

Geowissenschaftlichen Fakultät

der

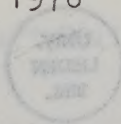
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.

vorgelegt von

Rolf Stephan

aus Pforzheim

1976



"Der ..."



Dekan

Professor Dr.

W. Wimmerauer

Referent

Professor Dr.

R. Keller

Korreferent

Professor Dr.

W.-D. Sick

Tag der Beschlußfassung der Fakultätskonferenz

16. 12. 76

Erschienen in: Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft
Sonderheft 5 (Hrsg. Deutsche Gesellschaft
für Bewässerungswirtschaft, Frankfurt und
Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen,
Bonn).
Frankfurt/Main 1978, DLG-Verlag

Lebenslauf

Geboren am 26. 11. 1942 in Pforzheim/Baden.

Eltern: Heinrich Stephan, gefallen 1944, und Ehefrau Gertrud Stephan, geb. Beetz.

Schulbildung: Volksschule in Pforzheim von 1949 - 54; Gymnasium in Pforzheim von 1954 - 63.

Auslandsaufenthalt von 1963 - 67 (USA, Ostasien, Südost- und Südasiens), Tätigkeiten als Fremdsprachenlehrer.

Ab SS 1968 Studium der Geographie, Geologie, Anglistik und Romanistik an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg i. Br.

Wissenschaftliche Prüfung für das Lehramt an Gymnasien in den Fächern Geographie und Anglistik im SS 1973.

Verheiratet seit Juni 1973.

Seit September 1973 Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle an der Pädagogischen Hochschule Rheinland, Abt. Köln.

Rolf Stephan

Vorwort

Die Anregung, mich mit Trockengebieten und Bewässerung auseinanderzusetzen, geht auf meinen verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. R. Keller, zurück. Ihm gilt mein besonderer Dank für sein reges Interesse an dieser Arbeit, die er auf vielfältige Weise förderte.

Herrn Prof. Dr. R. Keller und Herrn Prof. Dr. W.-D. Sick, denen ich meine geographische Grundausbildung verdanke, sei an dieser Stelle auch für ihre Anleitung zu wissenschaftlicher Arbeit gedankt.

1963 hielt ich mich erstmals während eines neunmonatigen USA- Aufenthaltes in Colorado auf. Seit 1973 beschäftigte ich mich eingehend mit dem San Luis Valley und korrespondierte mit zahlreichen Behörden in Denver, im Untersuchungsgebiet sowie dem Adams State College in Alamosa, die mir bei der Vorbereitung meines dreimonatigen Arbeitsaufenthaltes im San Luis Valley im Sommer 1974 behilflich waren.

Bei der Durchführung der Felduntersuchungen sowie bei der zumeist schwierigen Beschaffung des verstreut vorhandenen und zum Teil unveröffentlichten Materials war ich auf die Unterstützung der genannten Stellen angewiesen, die mir meine Arbeit durch zahlreiche Hinweise wesentlich erleichterten. Da das Material auf viele Landes- und Distriktbehörden verteilt ist, war es häufig nur schwer zugänglich.

Für ihre bereitwillige Hilfe bin ich deshalb zu besonderem Dank verpflichtet Herrn Dr. R. T. Hurr, Geological Survey, Denver, Herrn R. E. Hendricks, Soil Conservation Service, Monte Vista, Dr. J. A. Danielson und Dr. A. R. Qazi, Division of Water Resources, Denver, Herrn J. Shaffer, Bureau of Reclamation, Denver und Herrn F. Eddy, Rio Grande Water Conservation District, Alamosa sowie

Herrn R. Blewitt, San Luis Valley Irrigation District,
Alamosa, Herrn R. Philipps, Council of Governments,
Alamosa sowie Herrn A. J. Relyea, Colorado State Uni-
versity Agricultural Extension Service, Alamosa.

Den Farmern und allen Ungenannten sei an dieser Stelle
gedankt.

Rolf Stephan

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Lage und Abgrenzung des Untersuchungsgebietes	3
3. Die natürlichen Gegebenheiten	4
3.1. Geologisch - morphologische Übersicht	5
3.2. Das Klima des San Luis Valley	9
3.2.1. Die Temperatur	10
3.2.2. Die Niederschläge	11
3.2.3. Die Verdunstung	12
3.2.4. Die Luftfeuchtigkeit	13
3.2.5. Die Winde	13
3.2.6. Zusammenfassung	14
3.3. Die Vegetation des San Luis Valley	15
3.4. Die Böden des San Luis Valley	18
3.5. Die hydrologischen Verhältnisse	22
3.5.1. Das Oberflächenwasser	22
3.5.2. Das Grundwasser	25
3.5.3. Die Wasserqualität	27
3.5.4. Der Wasserhaushalt	35
3.5.5. Zusammenfassung	36
4. Landnahme und Erschließung der Wasserreserven	37
4.1. Landnahme	37
4.2. Erschließung und Nutzung des Oberflächenwassers	40
4.3. Erschließung und Nutzung der Grundwasserreserven	47
4.3.1. Nutzung des gespannten Grundwassers	47

4.3.2.	Nutzung des ungespannten Grundwassers	50
4.4.	Zusammenfassung	54
5.	Die Bewässerungswirtschaft	56
5.1.	Zur Anbauentwicklung	57
5.1.1.	Wettbewerbs- und Absatzbedingungen	70
5.2.	Die Bewässerungsverfahren	73
5.2.1.	Die Überflutungsbewässerung ..	74
5.2.1.1.	Der 'Water Buggy'	78
5.2.2.	Die Furchenbewässerung	80
5.2.3.	Die Unterflurbewässerung	81
5.2.4.	Die Feldeberegung	84
5.3.	Die bewässerte Fläche - Ausdehnung und Veränderung	89
5.4.	Zusammenfassung	92
6.	Folgen der Feldebewässerung für den Naturhaushalt	94
6.1.	Stauwassererscheinungen	94
6.2.	Bodenversalzung	96
6.3.	Bodenerosion	100
6.4.	Zur Gefahr der Bodensenkung	102
6.5.	Zusammenfassung	104
7.	Maßnahmen zur Stabilisierung des Naturhaushaltes	106
7.1.	Das Drainagekanalsystem	106
7.2.	Bedarfsorientierter Wasserverbrauch	111
7.3.	Bodenmelioration	122
7.3.1.	Meliorationsexperimente	122

7.3.2.	Wasserbedarf zu Zwecken der Bodenentsalzung	136
7.4.	Zusammenfassung	138
8.	Der Rio Grande - Vertrag und seine Auswirkungen auf die Bewässerungs- wirtschaft	141
9.	Zusammenfassung und Schlußbetrachtung ...	147
	Literaturverzeichnis	155
	Anhang	165
	Tabellen	166
	Abbildungen	190
	Karten	211
	Photos	229
	Abkürzungsverzeichnis	234
	Umrechnungstabelle	235

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1: Die Bewertung der Wasserqualität aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit und des Natriumanteils	166
2: Die durchschnittliche jährliche Wasserbilanz des San Luis Valley 1924 - 69	167
3: Die wichtigsten Bewässerungskanäle im San Luis Valley	168
4: Sickerverluste im Farmers' Union Canal am 24. 7. 1968	169
5: Sickerverluste im Bountiful Canal am 18. 7. 1972	170
6: Die wichtigsten Stauseen im San Luis Valley und ihre Speicherkapazität	171
7: Die Erträge der wichtigsten Feldfrüchte im San Luis Valley 1950 - 73	172
8: Die Anbaufläche der wichtigsten Feldfrüchte im San Luis Valley 1949 - 73	173
9: Anteil der Kartoffelsorten an der Gesamternte	174
10: Die Salztoleranz verschiedener Kulturpflanzen	175
11: Die Entfernung des San Luis Valley von wichtigen Absatzmärkten	176
12: Die Klassifizierung der Salzböden und ihre Charakteristika	177
13: Die wichtigsten Dränagesysteme im San Luis Valley	178
14: Die monatlichen Temperaturen, Niederschläge und Klimafaktoren für Alamosa, San Luis Valley	179
15: Die monatlichen Temperaturen, Niederschläge und Klimafaktoren für Del Norte, San Luis Valley	180
16: Der ursprüngliche Evapotranspirationskoeffizient (K) nach BLANEY & CRIDDLE für ausgewählte Produkte	181
17: Die Relation zwischen tatsächlichen und effektiven monatlichen Niederschlägen ...	182
18: Die Auswirkungen der zum Salzauswaschen verwendeten Wassermengen sowie der Gipsgaben zur Bodenverbesserung auf die Erträge von Gerste und Klee	183

Tab. 19:	Der Flurabstand des Grundwassers auf der Mosca - Hooper Versuchsfarm in den Jahren 1956 - 58	184
20:	Der Flurabstand des Grundwassers auf der Mosca - Hooper Versuchsfarm und Anzahl der oberirdischen Wassergaben für die Jahre 1959 - 60	185
21:	Die Auswirkungen verschiedener Meliorationsmaßnahmen auf die Alfalfa-Erträge im Bereich der lehmigen Sande der Gunbarrel - Serie 1959 - 60	186
22:	Die Auswirkungen verschiedener Meliorationsmaßnahmen auf die Alfalfa-Erträge im Bereich der sandigen Lehme der San Luis - Serie 1959 - 60	187
23:	Die Auswirkungen verschiedener Düngergaben auf die Gerste-Erträge auf Feldern mit Dränage 1962	188
24:	Die Auswirkungen verschiedener Düngergaben auf die Gerste-Erträge auf unterflurbewässerten Feldern mit zusätzlicher Oberflächenbewässerung 1962	189

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Geohydrologisches Profil durch das San Luis Valley Nach EMERY et al. 1971, Sheet 1	190
2: Klimadiagramm von Alamosa, Colorado Nach US Dept. of Commerce, N'tl Climatic Service, Data for Alamosa	191
3: Jahresgang der Temperatur im San Luis Valley (Alamosa) Nach Daten des US Weather Bureau für Alamosa WB AP 1934 - 62	192
4: Potentielle Evaporation (US Weather Bureau Standard Class A Pan) und mittlere monatliche Niederschläge in Alamosa 1961 - 67 Nach EMERY et al. 1971, Sheet 1	193
5: Jahresgang der Windgeschwindigkeit für Alamosa 1950 - 54 Nach Daten des US Dept. of Commerce, Air Weather Service, Wind Data for Alamosa 1950 - 54	194
6: Typische Abfolge von Bodenprofilen auf dem Rio Grande - Schwemmfächer Verändert nach POWELL 1958, Plate 11 ...	195
7: Mittlerer monatlicher Oberflächenzufluß zum San Luis Valley 1924 - 69 Verändert nach EMERY et al. 1973, S. 7, Fig. 3	196
8: Der jährliche Abfluß des Rio Grande bei Del Norte und des Conejos bei Mogote 1950 - 73 Nach USGS Water Resources Data for Colorado	197
9: Die Qualität des Rio Grande Wassers Verändert nach EMERY et al. 1973, S. 10, Fig. 4	198
10: Klassifikation von Grund- und Oberflächenwasser für Bewässerungszwecke im San Luis Valley Verändert nach POWELL 1958, Table 12 ...	199
11: Die Anzahl der fließenden artesischen Brunnen und der Brunnen im ungespannten Grundwasserleiter im San Luis Valley 1887 - 1970 Verändert und ergänzt nach POWELL 1958, S. 27, Fig. 7	200

Abb. 12:	Abfluß des Rio Grande; Installierung von Hochleistungsbrunnen; Entnahme von Oberflächenwasser und Grundwasserförderung für Bewässerungszwecke 1940 - 73 Nach Daten des USGS, Denver	201
13:	Die Ausdehnung der Anbaufläche von Sommer- und Winterweizen, Gerste (ab 1949 einschließlich Braugerste) und Alfalfa im San Luis Valley 1902 - 73 Nach Daten des CCLRS, Denver und des Rio Grande Joint Investigation 1938	202
14:	Die Ausdehnung der Kartoffelanbaufläche im San Luis Valley 1902 - 73 Nach Daten des CCLRS, Denver und des Rio Grande Joint Investigation 1938	203
15:	Die Salztoleranz verschiedener Anbauprodukte Nach USDA, Agric. Inf. Bull. No. 283 ...	204
16:	Die Unterflurbewässerung Verändert nach POWELL 1958, S. 63, Fig. 11	205
17:	Die Ausdehnung der Bewässerungsfläche im San Luis Valley 1880 - 1969 Nach Daten des Rio Grande Joint Investigation 1938 (Jahre 1880 - 1935) und des US Census of Agriculture (Jahre 1929 - 1963)	206
18:	Der monatliche Tagesstundenanteil in Prozent der Tagesstundenjahressumme für den Bereich zwischen 15 und 50° nördl. Breite Nach ISRAELSEN & HANSEN 1967, S. 250 - 251, Table 11.9	207
19:	Alfalfa-Erträge bei verschiedenen bemessenen Wassergaben und unterschiedlichem Grundwasserstand 1957 - 58 Nach FRANKLIN & WHITNEY 1959, S. 8, Plate 3	208
20:	Neutralsalzakkumulation im Boden bei verschieden bemessenen Wassergaben und unterschiedlichem Grundwasserstand Nach FRANKLIN & WHITNEY 1959, S. 10, Plate 4	209
21:	Natriumakkumulation im Boden bei verschieden bemessenen Wassergaben und unterschiedlichem Grundwasserstand Nach FRANKLIN & WHITNEY 1959, S. 12, Plate 5	210

Verzeichnis der Karten

	Seite
Karte 1: Lage des Untersuchungsgebietes Verändert nach Rio Grande Joint Investigation 1938, S. 210, Fig. 47 ..	211
2: Topographie des San Luis - Beckens Verkleinert und verändert nach Karten des USGS 1 : 250 000 NJ 13-4,5,7,8,10, 11	212
3: Die Jahresisohyeten im Rio Grande - Einzugsgebiet/San Luis Valley Verändert nach US Weather Bureau Climatological Data 1970	213
4: Die Jahresisothermen im Rio Grande - Einzugsgebiet/San Luis Valley Verändert nach US Weather Bureau Climatological Data 1970	214
5: Die Böden im San Luis Valley Verändert nach SLVCOG 1974, Vol.I, S. 24, Karte 5	215
6: Der Flurabstand des Grundwassers im San Luis Valley Verändert nach EMERY et al. 1971, Sheet 1	216
7: Neutralsalzkonzentration im ungespann- ten Grundwasserleiter Nach EMERY et al. 1973, Plate 4	217
8: Natriumkonzentration im ungespannten Grundwasserleiter Nach EMERY et al. 1973, Plate 5	218
9: Neutralsalzkonzentration im gespannten Grundwasserleiter Nach EMERY et al. 1973, Plate 8	219
10: Natriumkonzentration im gespannten Grundwasserleiter Nach EMERY et al. 1973, Plate 9	220
11: Das Kanalnetz im San Luis Valley Nach Einzelkarten und Daten des SLVID, des RGWCD, des USGS und des USBR	221
12: Die wichtigsten Stauseen im San Luis Valley Nach Irrigation Water Management Study 1969, Karte 7	222
13: Der Druckspiegel des artesischen Grundwassers und die Zone mit fließen- den artesischen Brunnen im San Luis Valley Nach EMERY et al. 1973, Plate 6	223

Karte	14: Die Hauptanbauzonen im San Luis Valley Nach SLVCOG 1974, S. 50, Karte 8	224
	15: Die Landnutzung im San Luis Valley Nach SLVCOG 1974, Vol. II, S. 316, Karte 27	225
	16: Die Verbreitung planierter Anbau- flächen und vorwiegend berechnete Gebiete im San Luis Valley Nach unveröffentl. Schätzungen des CSU Extension Service, Alamosa	226
	17: Die Dränagedistrikte im San Luis Valley Nach Irrigation Water Management Study 1969, Karte 7	227
	18: Das Closed Basin Project im San Luis Valley Verändert nach USBR, Karte 253X-500-1	228

1. Einleitung und Problemstellung

Die Bewässerungsoase im intermontanen San Luis -Becken unterscheidet sich vor allem durch ihre außergewöhnliche Höhenlage von anderen Bewässerungsgebieten des amerikanischen Westens.

Hieraus ergibt sich für den Feldbau im Untersuchungsgebiet eine Vielzahl von Aufgaben und Herausforderungen, welche sich zum Teil wesentlich von jenen abheben, die für in jüngster Zeit untersuchte Bewässerungslandschaften gelten, wie beispielsweise die Wasatch - Oase in Utah (STRÄSSER 1969), die Colorado - Wüste in Californien (SPÄTH 1972) und die Oase von Phoenix in Arizona (WEHMEIER 1975).

Weniger auf günstige klimatische Voraussetzungen als vielmehr auf das gewaltige nutzbare Wasserpotential läßt sich demnach die Erschließung des San Luis Valley und seine Entwicklung zu einer prosperierenden Agrarlandschaft zurückführen.

Wie im Rahmen der vorliegenden Studie aufzuzeigen sein wird, entstanden durch den Eingriff in das Naturgefüge zahlreiche Probleme ökologischer Natur. Innerhalb der vom Rio Grande River entwässerten Südhälfte des Beckens stellt sich die Problematik indessen anders dar als im nördlichen Bereich, wo von Anfang an Wasser in eine abflußlose Senke importiert, für die Ableitung des Überschußwassers jedoch nicht gesorgt wurde. Ungünstige Stauwasserspiegel, beträchtliche Wasserverluste infolge hoher Evapotranspirationsraten, Verschlechterung der Grundwasserqualität, zunehmende Bodenversalzung und daraus resultierende Anbauflächenverluste bilden besonders im letztgenannten Talbereich Glieder einer Kausalkette, deren Beseitigung als vordringliche Aufgabe anzusehen ist.

Im bewässerten Feldbau stellen niedrige Wasserausnutzungsgrade die Regel dar; so werden beispielsweise in den U. S. A. durchschnittlich 30 %, in Entwicklungsländern nur 10 bis 20 % erreicht (GARBRECHT 1973). Angesichts der sich weltweit abzeichnenden Wasserverknappung sind Gesamtwirkungsgrade in der obigen Größenordnung im Grunde nicht länger vertretbar.

Der Wassernutzungsgrad eines Bewässerungssystems wird aber in hohem Maße bestimmt von der Wasserdichtigkeit der Zuführungs- und Verteilungskanäle sowie von den verwendeten Bewässerungsverfahren bzw. deren Wirkungsgrad. Mittels einer Überprüfung der Verlustraten während des technischen Prozesses der Wasserversorgung wird somit zu ermitteln sein, inwieweit die Aussage, daß der Bewässerungsfeldbau von allen Wasserverbrauchern der größte Wasserverschwender sei, auch für das Untersuchungsgebiet zutreffend ist bzw. mit Hilfe welcher wasserwirtschaftlich - wasserbaulichen Maßnahmen und welcher Bewässerungsverfahren sich Verbesserungen erzielen lassen.

Für effektive, bedarfsorientierte Bewässerung bei möglichst geringem Produktionsrisiko ist vor allem ein stabiles Wasserdargebot unerläßlich. Es ist infolgedessen zu untersuchen, inwieweit dieser Forderung im S. L. V. Rechnung getragen wird, wobei Mängel und Unterlassungen aufgezeigt sowie Maßnahmen zu ihrer Behebung diskutiert werden sollen.

Eine Umrechnung der durchweg in englischen Maßeinheiten vorliegenden Daten auf das metrische System erschien angezeigt, um auf diese Weise optimale Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Untersuchungen zu schaffen. Für Zwecke der Rückrechnung oder aber zur Übertragung englischer Maße soll die im Anhang beigegebene Umrechnungstabelle eine Hilfe sein.

2. Lage und Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Die morphologische Form - ein teilweise geschlossenes Becken innerhalb der südlichen Rocky Mountains - und die Höhenlage - im Durchschnitt 2 350 m ü. N.N. - prägen die besondere Problematik des Bewässerungsfeldbaus im San Luis Valley, die in der vorliegenden Studie erarbeitet wird.

Das San Luis Valley (künftig S. L. V. genannt) liegt im Süden des Bundesstaates Colorado (Karte 1) und umfaßt die Counties Alamosa, Conejos, Costilla, Rio Grande und Saguache (vgl. Karte 8).

Das Tal wird im Norden und Osten durch die Sangre de Cristo Mountains begrenzt und im Westen durch die San Juan Mountains, auf deren Kammlinie die kontinentale Wasserscheide verläuft (Foto 1).

Im Süden endet das Untersuchungsgebiet an der Staatsgrenze von Neumexiko; es erstreckt sich demnach vom 37. Breitengrad im Süden (Staatsgrenze Colorado - Neumexiko) bis 38°30' am Poncha Pass im Norden.

3. Die natürlichen Gegebenheiten

Um in die Problematik einzuführen, die aus der Höhenlage, der Abflußlosigkeit eines Teilgebietes und der gleichzeitigen Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser im San Luis - Becken resultiert, ist die Erörterung der klimatischen, hydrologischen und pedologischen Gegebenheiten des Raumes sinnvoll. In diesem Zusammenhang ist unter anderem die Kenntnis der Extremwerte der Temperatur von besonderer Bedeutung, um damit z. B. den Zeitraum mit Frostgefahr für die Kulturen zu ermitteln. Daneben ist es für die Beurteilung des Bodenwasserhaushaltes sowie der verschiedenen Be- und Entwässerungsverfahren hinsichtlich ihres Anwendungsbereiches und Wirkungsgrades wichtig, die Texturierung und Profilabfolge der Böden zu kennen. Insofern stellt die eingehende Betrachtung des Klimas, der Böden und der hydrologischen Verhältnisse die Voraussetzungen für das Verständnis des bewirtschafteten Raumes dar.

3.1. Geologisch - morphologische Übersicht

Das San Luis Valley, ein intermontanes Hochgebirgsbecken mit nördlichem Streichen, ist das südlichste einer Reihe jüngerer Einbruchsbecken - den sogenannten 'Parks' - im Bereich der südlichen, enger zusammenrückenden Rocky Mountains. Der kaum merklich nach Süden und Osten einfallende Beckenboden liegt im äußersten Süden - unweit des Rio Grande del Norte - um 2 260 m und am Fuß der Gebirgsumrahmung fast durchweg 2 400 m hoch (Karte 2). Insgesamt erstreckt sich das Untersuchungsgebiet etwa 160 km in nordsüdlicher und 80 km in westöstlicher Richtung und umfaßt ungefähr 8 000 km² (s. Karte 1).

Der nur geringfügig reliefierte alluviale Talboden und die steil aufragenden, begrenzenden Gebirgsketten bestimmen das Landschaftsbild. Diese Regelmäßigkeit wird nur selten durchbrochen, im Süden von den jungvulkanischen San Luis Hills (s. Karte 1), die ihre Umgebung mehr als 300 m überragen, und im Osten vom ausgedehnten Dünengebiet der Great Sand Dunes (National Monument)¹, welches sich mehr als 220 m über den Talboden erhebt.

Die Sangre de Cristo Range (Ostflanke des Beckens) ist aus einem paläozoischen Granitkern aufgebaut, der seinerseits von paläozoischen Konglomeraten, Sandsteinen, Kalken und Schieferen überlagert wird. Die San Juan Mountains im Westen bestehen im wesent-

1) Das Gebiet der Great Sand Dunes (ca. 40 km nordöstlich von Alamosa, am Fuß der Sangre de Cristo-Kette) umfaßt etwa 1 550 km². Mit Höhen über 220 m sind sie die höchsten Dünen Nordamerikas. Ihre Sande entstammen den Alluvionen des R. G. - Schwemmfächers und wurden in jüngster erdgeschichtlicher Vergangenheit von den vorherrschenden südwestlichen Winden ausgeweht (JOHNSON 1967, S. C 177).

lichen aus Vulkaniten.¹ Die Kammlinie der letztgenannten Gebirgskette bildet die kontinentale Wasserscheide und trennt das Einzugsgebiet des Rio Grande del Norte (unter Verwendung der US-amerikanischen Bezeichnung künftig R. G. - River genannt) von dem des Colorado River, während die Sangre de Cristo Range das S. L. V. vom Stromgebiet des Arkansas abgrenzt.

Die Gipfel der Gebirgsflanken liegen fast ausnahmslos höher als 4 000 m ü. N.N.; ihre höchste Erhebung (4 377 m) ist der Blanca Peak im stark zerklüfteten Sangre de Cristo - Massiv nordöstlich von Blanca (vgl. Karte 2).

Innerhalb der südlichen Talhälfte bilden die basaltischen San Luis Hills eine niedrige Schranke, in die sich der R. G. - River eingetieft hat. Jenseits der Staatsgrenze Colorado - Neumexiko geht das Becken allmählich in das R. G. - Tiefland über (s. Karte 1).

Die Sedimentfüllung des Beckens ist oligozänen bis holozänen Alters und besteht aus Ablagerungen der angrenzenden Gebirgsketten; sie setzt sich im Westen sowie in einer vergleichsweise schmalen östlichen Randzone hauptsächlich aus Geröllen und Sanden zusammen, wobei im Westen vulkanische Ergußgesteine und Tuffe zwischengeschaltet sind. In den tiefstgelegenen Teilen des Tales überwiegen dagegen Schluff und Ton (Abb. 1). Die unverfestigten Tonhorizonte sind von unterschiedlicher Mächtigkeit und weisen häufig Einschlüsse aus Sand und Geröll auf.

Schwereanomaliemessungen ergaben für das gesamte Sedimentpaket eine Mächtigkeit von über 10 000 m (GACA & KARIG 1966, S. 1).

1) Zur Einführung in die Geologie des San Luis - Beckens s.u.a. SIEBENTHAL 1910 und THORNBURY 1965.

Der größte Teil der Senke bildete noch im Spätertertiär ein Seebecken, das durch die San Luis Hills nach Süden hin abgeriegelt war. Dieses Becken wurde durch abwechselnd sandige und tonige limnische Sedimente aufgefüllt.

Die einheitliche Oberfläche der Sedimentfüllung wurde indessen durch die Schwemmfächer der Flüsse aus den begrenzenden Gebirgsflanken randlich modelliert. Während das durchweg westöstliche Gefälle des Trogbodens im Mittel 0,11 % beträgt, erreicht die Oberfläche der Schwemmfächer eine Neigung von durchschnittlich 1 % und mehr. Die Schwemmfächer der Westseite unterscheiden sich aber generell durch größere Ausdehnung und geringeres Gefälle von jenen der Ostseite, da die Gewässer der westlichen Gebirgsflanke über umfangreichere und niederschlagsreichere Einzugsgebiete verfügen (vgl. Karte 3). Der ausgedehnte, vom R. G. - River aufgeschüttete Schwemmfächer nimmt einen großen Teil des S. L. V. ein; er erstreckt sich längs des westlichen Trograndes nahezu 50 km in nordsüdlicher Richtung und reicht nach Osten mehr als 30 km in das Beckeninnere hinein (s. Karte 2).

Das San Luis Becken ist morphologisch zweigeteilt in einen abflußlosen nördlichen Teil und in einen Südteil, der vom R. G. - River entwässert wird (vgl. Karte 2). Die Trennlinie verläuft etwa 1,5 bis 5 km nördlich und parallel zum R. G. - River; ungefähr 13 km östlich von Alamosa schwenkt sie nach Nordosten in Richtung der Sangre de Cristo - Kette um. Als Grundwasserscheide (künftig GW - Scheide genannt) ist sie durchgehend ausgebildet, als topographische Trennlinie dagegen läßt sie sich auf einigen Abschnitten kaum erkennen, erhebt sich aber streckenweise bis 6 m über das Niveau des Talbodens (POWELL 1958, S. 12). Die in den abflußlosen nördlichen Teil

des Beckens entwässernden Flüsse führen alle nur periodisch Wasser. Sofern sie nicht schon auf ihrem Weg über die porösen Sedimente der randlichen Schwemmfächer völlig versickern, fließen sie in den sogenannten 'Sump'. Dieses Sumpfgebiet mit mehreren Seen schließt sich östlich an den Schwemmfächer des R. G. - River an.

Die Abflußlosigkeit der Nordhälfte zog schon früh Probleme für die Bewässerungswirtschaft nach sich, da der ständige künstliche Wasserimport aus dem R. G. - River ein starkes Ansteigen des GW - Spiegels und dadurch Stauwasser- und Versalzungserscheinungen in den tiefer gelegenen Bereichen zur Folge hatte.

Das schwach bewegte Relief bzw. das minimale Gefälle des Talbodens im gesamten S. L. V. mit Ausnahme der randlichen Schwemmfächerzone und der San Luis Hills ist grundsätzlich für die Anlage von Bewässerungsflächen sowie die hierfür durchzuführenden Planierarbeiten von Vorteil, es stellt aber andererseits die Ursache zahlreicher Probleme auf dem Gebiet der Be- und Entwässerung dar.

3.2. Das Klima des San Luis Valley

Die Kenntnis der klimatischen Gegebenheiten ist eine Grundvoraussetzung für die Analyse und Beurteilung des von der Landwirtschaft geprägten Raumes. Möglichkeiten und Probleme seiner Nutzung lassen sich in ihren Grundzügen nach Erfassung der für das Pflanzenwachstum wesentlichen Klimafaktoren ableiten.

Entscheidend für das Klima des S. L. V. sind seine Breitenlage (37° - 38° 30'N), große Meereshöhe ($\varnothing$ 2 350 m), ausgeprägte Kontinentalität (Ostrand der Rocky Mts.) und die Leewirkung der meridional verlaufenden Gebirgsflanken.

Einleitend sei das nach WALTER (1955) erstellte Klimadiagramm für Alamosa vorgestellt (Abb. 2)¹. Die Abbildung vermittelt bereits einen Überblick über Temperaturgang und Verteilung der Niederschläge, Dauer und Ausmaß der Trocken- bzw. Dürreperiode, der kalten und der frostfreien Jahreszeit im Untersuchungsgebiet. Auf die einzelnen Klimafaktoren wird nachfolgend jeweils gesondert einzugehen sein.

1) Auf der Abszisse des Klimagramms (nach WALTER 1955) sind die Monate Januar bis Dezember abgetragen. Auf der Ordinate bedeutet jeder Teilstrich 10°C bzw. 20 mm Niederschlag. Die Temperaturkurve ist als dünne, die Niederschlagskurve als dicke Linie eingezeichnet. Die schraffierte Fläche spiegelt die Humidität, die punktierte Fläche die Aridität des Klimas in der jeweiligen Jahreszeit wider. Durch die Fläche mit horizontaler Strichelung zwischen der Temperaturkurve und der um $1/3$ gesenkten, gestrichelten Niederschlagskurve wird die "Trockenzeit" dargestellt. Die Monate mit einem mittleren Minimum unter 0°C sind auf der Abszisse schwarz, solche mit einem absoluten Minimum unter Null schräg schraffiert eingezeichnet. Die freigelassene Fläche entspricht den absolut frostfreien Monaten, die Zahlenangaben der mittleren Dauer der frostfreien Zeit in Tagen. Oben links ist der Name der Station mit deren Höhenlage in Metern, darunter die Zahl der Beobachtungsjahre in eckigen Klammern, links Temperatur-, rechts Niederschlagsmessungen vermerkt. Rechts oben werden die mittlere Jahrestemperatur und die mittlere jährliche Niederschlagsmenge angegeben.

3.2.1. Die Temperatur

Abb. 3 - (vgl. hierzu auch Abb. 2, Klimadiagramm von Alamosa) stellt den Jahresgang der Temperatur im S. L. V. dar¹. Die mittleren monatlichen Extreme - sie wurden über einen Zeitraum von 29 Jahren (1934 bis 1962) ermittelt - sind als Koordinaten eingezeichnet. Die Verbindung der Punkte ergibt den Jahresgang. An den von links oben nach rechts unten verlaufenden Diagonalen läßt sich die Monatstemperatur als arithmetisches Mittel der Extreme ablesen, während die Senkrechten dazu von links unten nach rechts oben die mittlere absolute Tagesschwankung während der einzelnen Monate anzeigen.

Das Temperaturverhalten der Jahreszeiten spiegelt sich deutlich im Kurvenverlauf wider: Der Winter mit sehr niedrigen Tagesmitteln (zwischen 7,5 und 1°C unter Null) und Tagesamplituden von 17 bis 21°C, das Frühjahr mit nahezu linearem Anstieg der Mittelwerte bei geringer Zunahme der Tagesschwankung, der Sommer mit den höchsten Tagesamplituden (um 22°C).

Die Verteilung der mittleren Extreme verdeutlicht die Kürze der Wachstumsperiode im S. L. V.. Sie dauert in der Regel nur zwischen 90 und 120 Tage, meist von Anfang Juni bis Mitte September. Als absolutes Maximum wurden 32,7°C und als absolutes Minimum -45,5°C gemessen.

Wintertemperaturen von -35°C treten häufig auf (U. S. Dept. of Commerce, N'tl Climatic Service, Data for Alamosa, Colo. 1973). Die Jahresmitteltemperaturen im San Luis - Becken liegen zwischen 3,9 und 5,6°C (vgl. Karte 4).

1) Methode und Darstellung des Rechtecknomogramms nach FLIRI 1972.

3.2.2. Die Niederschläge

Die umrahmenden Gebirgsketten verhindern weitgehend den Zustrom feuchter Luftmassen in das Tal. Ergiebige Niederschläge sind nur dann zu erwarten, wenn das sommerliche Tief über dem Colorado - Plateau sich nach Arizona oder Neumexiko verlagert.

Die Niederschläge im S. L. V. sind minimal (vgl. Abb. 2 und Karte 3). Über einen Beobachtungszeitraum von 83 Jahren (1891 bis 1973) betrugen die Jahresniederschläge im zentralen Talbereich (Alamosa) im Mittel 167 mm. Die Zunahme der Niederschlagshöhe zum Beckenrand hin bewirkt eine gewisse Zonierung (vgl. Karte 3).

Ein weiteres Merkmal der Niederschläge im S. L. V. ist ihre hohe Variabilität. Es können Jahre mit sehr geringen Niederschlägen (z.B. 86 mm, Alamosa 1956) und vergleichsweise feuchte Jahre (z.B. 220 mm, Alamosa 1938) auftreten (Water Resources of the Upper R. G. - Basin 1970, S. 35, Table 6).

Der überwiegende Teil der Jahresniederschläge innerhalb des Tales (ca. 80 %) fällt in der Zeit von Frühjahr bis Spätsommer (vgl. Abb. 4 und Abb. 2)¹ in Form von leichten Gewitterschauern. Nicht selten tritt während der Gewitter Hagelschlag auf, der mit erheblichen Ernteverlusten verbunden ist.

Im Winter sind leichte Schneefälle häufig; die Schneehöhe beträgt jedoch im Durchschnitt weniger als 70 cm

1) Unterschiede der monatlichen Niederschlagsmengen sind auf die den beiden Abbildungen zugrundeliegenden, voneinander abweichenden Meßzeiträume zurückzuführen.

pro Jahr. Während der kältesten Monate bleibt die Schneedecke in der Regel mehrere Wochen lang liegen.

Die Gebirgskämme erhalten verhältnismäßig reiche Niederschläge, die generell mehr als 400 mm, im Westen (Bereich der kontinentalen Wasserscheide) vielfach über 800 mm betragen (vgl. Karte 3).

Die geringen Jahresmengen lassen erkennen, daß Feldbau im San Luis Becken nur auf Bewässerungsbasis, d.h. durch Nutzbarmachung der auf den Gebirgsflanken fallenden Niederschläge möglich ist.

3.2.3. Die Verdunstung

Niederschlagsarmut und relativ hohe Tagestemperaturen, besonders im Sommer, bewirken ein erhebliches Feuchte-defizit der Luft. Die durchschnittliche potentielle Evaporation für die Monate April bis September beträgt 1 327 mm. Abb. 4 zeigt für den genannten Zeitraum den Gang der mittleren potentiellen Monatsverdunstung, welchem die durchschnittlichen monatlichen Niederschläge gegenübergestellt sind. Die Summe der Niederschlagsmittel von April bis September ergibt 128 mm. Das Jahresmittel der Meßstation Alamosa für den Zeitraum 1961 bis 1967 beläuft sich auf 198 mm.

Die potentielle Verdunstung für die Monate April bis September übertrifft demnach die durchschnittliche Niederschlagsmenge um mehr als das Zehnfache. Hieraus lassen sich die für den Bewässerungsfeldbau zu berücksichtigenden Feuchtedefizitraten bereits ableiten.

3.2.4. Die Luftfeuchtigkeit

Die relative Feuchtigkeit der Luft bewegt sich im Jahresdurchschnitt zwischen 76 % am frühen Morgen und 40 % am späten Nachmittag (U. S. Dept. of Commerce, N'tl Climatic Service, Data for Alamosa, Colo. 1973); sie hat somit einen stark ausgeprägten Tagesgang.

3.2.5. Die Winde

Die begrenzenden Gebirgsflanken verhindern weitgehend das Eindringen von Luftmassen aus Nord, Ost und West; überwiegend trockene Winde aus südlichen bis südwestlichen Richtungen herrschen demnach vor.

Während des Winterhalbjahres treten bisweilen heftige Stürme aus nordöstlicher Richtung auf; sie sind von kurzer Dauer und in der Regel mit Temperaturstürzen verbunden. Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten (um 25 km/h) treten von März bis Juni auf (Abb. 5). Die Spitzengeschwindigkeiten betragen in dieser Jahreszeit mehr als 70 km/h. Die absoluten Jahreshöchstwerte werden jedoch gewöhnlich im Januar registriert. Sie erreichen 80 km/h (U. S. Dept. of Commerce, Air Weather Service, Wind Data for Alamosa 1950 - 1954).

Erhebliche Auswirkungen auf den Bewässerungsfeldbau gehen von den sommerlichen, aus südwestlicher Richtung wehenden Winden aus, deren trockenheiße Luft zu einer wesentlichen Erhöhung der örtlichen Evapotranspirationsraten im Bereich der Kulturflächen führt. Demzufolge steigt der Gesamtwasserbedarf entsprechend an.

3.2.6. Zusammenfassung

Das Klima des San Luis - Beckens entspricht dem der winterkalten Trockensteppen und Wüsten (BSk- bis BWk-Klima der KÖPPEN'schen Klimaklassifikation). Es ist semiarid in den Randlagen und arid im Beckeninnern, dessen Trockenheit durch die hohe Permeabilität der Böden noch verstärkt wird¹.

Geringe Bewölkung sowie die aufgrund der Höhenlage hohe Strahlungsintensität haben einen ausgeprägten Tagesgang der Temperatur mit Amplituden bis 22°C zur Folge (s. Abb. 3).

Sehr niedrige Wintertemperaturen und kurze warme Sommer - die Vegetationsperiode dauert je nach Lagegunst nur 90 bis 120 Tage - sind weiterhin kennzeichnend für das Untersuchungsgebiet. Die Luftfeuchtigkeit ist gering und die potentielle Verdunstung hoch. Die Niederschläge sind minimal.

Temperaturgang und Niederschlagsmenge machen deutlich, daß eine Landnutzung ausschließlich auf der Grundlage der Feldbewässerung möglich ist.

1) Ergänzend sei hierzu angemerkt, daß nach der Klimaeinteilung von THORNTHWAITE (1931, S. 653 ff.) für Nordamerika das S. L. V. den Klimaprovinzen EC'd (arid, microthermal, deficiency of precipitation at all seasons) und DC'd (semiarid, microthermal, deficiency of precipitation at all seasons) angehört. Zur Diskussion der Problematik einer Klimaklassifikation s. u. a. BLÜTHGEN 1966, HEYER 1972, KELLER 1962.

3.3. Die Vegetation

Den klimatischen und edaphischen Bedingungen entsprechend setzt sich die Vegetation im San Luis - Becken aus xerophilen Arten - vorwiegend Phreatophyten - zusammen. Die bedeutenderen Pflanzengesellschaften - eine eingehendere Behandlung würde über den Rahmen der vorliegenden Studie hinausgehen - seien hier vorgestellt. Einige der nachfolgend aufzuführenden Arten sind Indikatoren für den Salzgehalt des Bodens.

Weitverbreitet auf Böden mit ungenügender natürlicher Entwässerung und hohem Salz- und/oder Natriumgehalt, also vor allem innerhalb eines breiten Streifens längs des östlichen Beckenrandes, ist GREASEWOOD (*Sarcobatus vermiculatus*). Dieses Salzstrauchgewächs, im S. L. V. als 'Chico' bekannt, bevorzugt generell kühle Klimate und besitzt die Fähigkeit, tiefliegende GW - Vorräte (gelegentlich noch aus 17 m Tiefe) zu nutzen. Es ist bezeichnend, daß es unter anderem in solchen Gebieten Hauptbestandsbildner ist, wo infolge von hohem Stauwasserspiegel und/oder Bodenversalzung Feldbau nicht mehr betrieben wird.

Weiterhin sind im S. L. V. verschiedene Arten von RABBITBRUSH (*Chrysothamnus nauseosus*) vertreten, deren Verbreitung im einzelnen vom Flurabstand des GW's im betreffenden Gebiet abhängig ist. Diese ebenfalls tiefwurzelnden Sträucher dominieren in den etwas höher gelegenen Talbereichen (im Westen und im Südosten), treten aber in der Nähe der tiefgelegenen, versalzten Gebiete immer mehr gegenüber Chico zurück.

Die Gras- und Strauchsteppe (GRASSLAND - SHRUB STEPPE) nahm ursprünglich die etwas höheren, grundwasserferneren Areale ein. Durch Überweidung wurde sie jedoch stark in Mitleidenschaft gezogen (vgl. auch Kapitel 4.1.), was eine Verdrängung der Primärvegetation durch Rabbitbrush - Arten und andere Sträucher zur Folge hatte (DIXON 1971, S. 133).

In den südöstlichen Talbereichen ist - vermutlich aufgrund der dort etwas höheren Schneefälle - anstelle der Trockenstrauch - Steppenvegetation die SAGEBRUSH - Gesellschaft (*Artemisia tridentata*, Familie der Kompositae) anzutreffen. Sie bildet ausgedehnte Bestände und ist in der Regel auf tiefgründigen, feintexturierten Böden vertreten, die sich für eine landwirtschaftliche Nutzung gut eignen.

Überall im Beckeninnern, wo sich das GW weniger als 1 m unter Flur befindet, tritt zusätzlich SALTGRASS (*Distichlis*) auf.

Die charakteristische Vegetation entlang der Creeks und Flußläufe sind Galeriewälder, die sich vorwiegend aus Pappel- und Weidenbeständen zusammensetzen. Auch Kanalränder, an denen sie sich rasch ausbreiten, sind bevorzugte Standorte dieser COTTONWOOD - WILLOW - Gesellschaft (*Populus angustifolia* und *Salix* spp.). Der allgemein hohe Wasserverbrauch dieser Arten fällt in Trockengebieten besonders ins Gewicht; er soll nach BITTINGER & ENIX (1963) bei lichten Beständen ca. 400 mm/Jahr und bei dichten Beständen sogar 600 mm/Jahr ausmachen.

Die Tatsache, daß der Gesamtbestand an Pappeln und Weiden in den fünf Verwaltungsbezirken Alamosa, Conejos, Costilla, Rio Grande und Saguache über 10 000 ha umfaßt (Irrigation Water Management Study 1969, S. 19), macht deutlich, daß der Bewässerungs-

wirtschaft auf diese Weise beträchtliche Wassermengen verlorengelassen.

Neuerdings stellte man im S. L. V. auch Bestände von SALT - CEDAR (*Tamarix*) fest. In der Umgebung des San Luis Lake, nordöstlich von Alamosa (s. Karte 1), sowie in unmittelbarer Nähe einer ca. 8 km weiter südwestlich gelegenen Salzpflanze wurden insgesamt fast 400 Exemplare gezählt (EMERY et al. 1973, S. 15). Da der Wasserverbrauch der Tamarisken beträchtlich über dem der bisher dominierenden Phreatophyten liegt, könnten diese im Falle einer weiteren Ausbreitung zum Problem werden. Die Tamarisken würden ein wesentliches Ansteigen der Evapotranspirationsrate und damit indirekt eine Verringerung des verfügbaren Bewässerungswassers bewirken (vgl. Kapitel 3.5.4.).

Im Bereich des Anstiegs zur Gebirgsumrahmung finden sich außerdem, je nach Höhe und Standortbedingungen, unter anderem umfangreiche Bestände von Wacholder (*Juniperus scopulorum* und *Juniperus monosperma*), Espen (*Populus tremuloides*), Douglasfichten (*Pseudotsuga menziesii*) und Blautannen (*Picea pungens*). Mit zunehmender Höhe werden die Wuchsformen innerhalb dieser Formation immer krüppelhafter, bis schließlich alpine Pflanzengesellschaften aus Gräsern und Kräutern sie ablösen. Vielfach nutzt man diese Matten in den Staatswäldern (National Forests) als Sommerweide für die Rinderherden. Die Gipfelregion ist vegetationslos.

3.4. Die Böden des San Luis Valley

Die in der San Luis Senke auftretenden Böden werden generell als Grey Desert Soils¹, d.h. als graue Böden der Wüstensteppen oder Halbwüsten² klassifiziert.

Bei ihrem Ausgangsmaterial handelt es sich zum einen um unverfestigte, schwach verwitterte fluviatile Sedimente, welche die Flüsse der Gebirgsumrahmung dem Becken zugeführt haben, und zum andern um äolische Ablagerungen (Löß), die vorwiegend nördlich und östlich des R. G. - River auftreten.

Für die fluviatilen Sedimente ergab sich als Folge hoher Variabilität der Abflußspenden sowie zahlloser Laufverlegungen der Flüsse eine starke Stratifizierung der Bodenprofile; deren Abfolge zeigt Abb. 6.

Wenig sortierte, grobe Schotter herrschen in der Regel im oberen Bereich der randlichen Schwemmfächerzone vor. Zum Talinnern hin nehmen die Korndurchmesser konstant ab; der Schotteranteil ist gering.

Längs des Beckenostandes, dem tiefstgelegenen Talbereich, wird das Sedimentpaket fast ausschließlich aus Sand-, Schluff- und Tonfraktionen aufgebaut.

Zwischengelagerte Schichten sowie linsenförmige Einschlüsse aus gröberem Material komplizieren jedoch dieses schematische Bild (vgl. Abb. 6).

1) Vgl. hierzu THORNTHWAITE 1931, S. 655 und Council of Governments 1974, Vol. I, S. 23.

2) Die grauen Böden der Wüstensteppen nehmen nach GRACANIN (1951) in den U.S.A. ca. 1,02 Mio. km² ein.

Für eine detaillierte Beschreibung der genannten Böden sowie verwandter Bodentypen siehe GANSSSEN 1968.

Eine übersichtliche Gliederung ist aufgrund der Vielfalt der vorkommenden Böden problematisch. Nachfolgend soll eine Einteilung in vier Hauptgruppen vorgenommen werden:¹

1. Nahezu humusfreie SANDBÖDEN ohne erkennbare Horizontierung nehmen ca. 34 % des zentralen Talbereichs ein. Ihre Tiefe variiert je nach Standort beträchtlich; im allgemeinen nimmt sie jedoch zum Beckenrand hin ab. Diese Böden sind vorwiegend in der Osthälfte des Tales, im Gebiet von Mosca und Hooper sowie im südöstlichen Costilla County anzutreffen.
2. LEHMIGE SANDBÖDEN mit überwiegend grober Textur treten in den Gebieten zwischen den Schwemmfächern von R. G. -, Alamosa- und Conejos River auf. Ihr Schotteranteil im Oberboden ist erheblich und ihre Tiefe beträgt zwischen 45 und 90 cm. Dabei herrschen in der Nähe des Vorgebirges flachgründige Böden mit großem Schotteranteil vor, weiter im Osten, zur Talmitte hin, dagegen solche von größerer Mächtigkeit und geringen Korngrößen.
3. SANDIGE LEHM- und TONBÖDEN bedecken die Hochflutebenen des Saguache-, Alamosa-, La Jara-, Conejos- und R. G. - River.
4. SANDBÖDEN mit großem Schotteranteil sind auf den höheren Teilen der Schwemmfächer

1) Council of Governments 1974, Vol. I, S. 24

am nordöstlichen Beckenrand (Fuß der Sangre de Cristo Mountains) sowie im Bereich der San Luis Hills vertreten¹.

Zusammenfassend läßt sich über die Böden im Untersuchungsgebiet folgendes aussagen:

Sie bestehen in der Regel aus einem 30 bis 50 cm mächtigen A - Horizont aus sandigen Lehmen bis lehmigen Sanden auf vorwiegend aus Sanden und Schottern aufgebautem Untergrund (C - Horizont) von beträchtlicher Mächtigkeit (vgl. hierzu Kapitel 3.1.). Wie häufig in Trockengebieten, fehlt der B - Horizont (AC - Böden). Die Gebiete in den tiefgelegenen Abschnitten der Fluß- und Bachläufe, deren Böden sich aus tonigen Lehmen zusammensetzen und Mächtigkeiten von 1,30 m und mehr erreichen, weichen von diesem schematischen Bild ab.

Ergänzend sei in diesem Zusammenhang auf die Konsequenzen der ausgeprägten Zonierung der Böden für den Feldbau hingewiesen. Gerade die im Untersuchungsgebiet vorherrschenden, nährstoffreichen leichten Böden mit relativ grober bis mittelfeiner Textur eignen sich bei entsprechender Bodenpflege gut für die Kultivierung; sie sind ausreichend durchlüftet und von guter Wasseraufnahmefähigkeit. Überdies zeichnen sich derartige Böden aufgrund ihrer hohen Permeabilität durch bessere natürliche Dränage aus als solche mit feinerer Textur. Da sie sich schneller erwärmen als schwere Böden, sind sie in Anbetracht der klimatischen Gegebenheiten (kurze Wachstumsperiode und ausgeprägte nächtliche Aus-

1) Ein detaillierteres Bild von der Verbreitung der Böden vermittelt Karte 5.

strahlung, vgl. Kapitel 3.2.1. und Abb. 3) für den landwirtschaftlichen Anbau von Vorteil. Ihr geringes Wasserhaltevermögen macht jedoch bei der Anwendung traditioneller Verfahren der Oberflächenbewässerung häufige und hohe Wassergaben erforderlich. (Die Besprechung der im S. L. V. verwendeten Bewässerungsverfahren wird in Kapitel 5.2. erfolgen.)

Die feintexturierten Böden erfordern zwar im Gegensatz dazu nur mäßige Bewässerung, ihre topographisch tiefe Lage, geringe Permeabilität und hohes Wasserhaltevermögen behindern jedoch die aufgrund des gegebenen minimalen Talbodengefälles ohnehin schon problematische - natürliche und künstliche - Entwässerung. Die genannten Faktoren begünstigen zudem zwangsläufig die Entstehung von Staunässe sowie die Anreicherung von Salzen im Boden (s. hierzu auch Karte 5).

Der Melioration salzgeschädigter schwerer Böden, die in hohem Maße zur Verdichtung neigen, sind indessen enge Grenzen gesetzt. (Problematik und Methoden der Bodenmelioration werden in Kapitel 7. zu erörtern sein.)

3.5. Die hydrologischen Verhältnisse

Die Grenzen des S. L. V. als hydrologischer Einheit sind im Nordosten und Osten auf dem Kamm der Sangre de Cristo-Kette zu ziehen, im Westen und Nordwesten - weiter zurückversetzt - auf dem Kamm des San Juan-Massivs, welches hier die kontinentale Wasserscheide bildet.

Innerhalb des Beckens sind zwei hydrologische Unter-einheiten ausgebildet: Der abflußlose Norden (s. Karte 2) - das sog. 'Closed Basin' - sowie die Südhälfte, welche vom R. G. - River und dessen Nebenflüssen entwässert wird.

3.5.1. Das Oberflächenwasser

Das Wasserdargebot des San Luis Beckens - aus einem ca. 12 200 km² umfassenden Einzugsgebiet (EMERY 1971, S. 129) - ist überwiegend Oberflächenabfluß in Form von Schmelzwasser, da die winterlichen Niederschläge auf der Gebirgsumrahmung als Schneefall niedergehen und so eine natürliche Wasserspeicherung bis zum Frühjahr bewirken.

Die Flüsse des westlichen Teils der Gebirgsumrahmung verfügen über bedeutend ausgedehntere (vgl. Karte 2) und niederschlagsreichere (s. Karte 3) Einzugsgebiete mit entsprechend hohen Abflußspenden. Kurze Lauflängen, vergleichsweise starkes Gefälle und erheblich kleinere Einzugsgebiete kennzeichnen demgegenüber die Flüsse aus der östlichen Gebirgsflanke. Ihre Wasserführung ist demnach gering und ihr Hochwasser wenig ausgeprägt.

Demzufolge kommen mehr als Dreiviertel der Zuflußmenge aus den San Juan Mountains im Westen, und der relativ geringfügige, verbleibende Anteil aus den östlichen Gebirgsmassiven.

Hieraus läßt sich die Benachteiligung der östlichen Beckenhälfte hinsichtlich der Wasserversorgung erkennen, die sich zwangsläufig hemmend auf die Entwicklung der Feldebewässerung in diesem Raum auswirkte.

Der Oberflächenzufluß erreicht im Mittel nahezu 2 Mrd. Kubikmeter pro Jahr. Dabei bewegen sich die Jahresmengen jedoch zwischen ca. 1 Mrd. und knapp 3,5 Mrd. Kubikmeter.

Abb. 7 gibt den mittleren monatlichen Abfluß an drei Meßstellen auf der Westseite sowie einer weiteren auf der Ostseite des Beckens wider. Es wird deutlich, daß der bei weitem größte Teil des Jahresabflusses bzw. die Hochwasser durchweg in die Zeit der frühlommerlichen Schneeschmelze fallen, die meist von April bis Juni dauert. So kommen beispielsweise von der Jahresmenge des R. G. - River im Durchschnitt 70 % zwischen dem 1. April und dem 30. Juli zum Abfluß. Nach der Schneeschmelze - im Laufe von Sommer und Herbst - verringert sich der Abfluß erheblich, um erst im Winter wieder geringfügig zuzunehmen. Unerhebliche Schwankungen während der Sommermonate sind auf örtliche Niederschläge zurückzuführen.

Der Oberflächenzufluß des S. L. V. hat sich seit den Zwanziger Jahren, die durchweg hohe Abflußspenden aufwiesen, deutlich verringert (Abb. 8)¹. Zwischen 1907 und 1930 waren geringe Abflußmengen äußerst selten. So zeigen beispielsweise die Abflußdaten der Meßstelle am Rio Grande bei Del Norte (s. Karte 2), daß zwischen 1907 und 1930 der Jahresabfluß des R. G. - River fünf Mal die 1,2 Mrd. m³ - Marke erreichte bzw. übertraf.

1) Ursache hierfür ist die Abnahme der Niederschlagsmenge.

Der niedrigste Jahresabfluß innerhalb dieses Zeitraums von 24 Jahren betrug 645 Mio.m³ (1918). Seit 1930 wurde jedoch in keinem Jahr ein Abfluß über 1,2 Mrd.m³ gemessen, und minimale Jahresmengen von weniger als 500 Mio.m³ traten 11 Mal auf (vgl. Abb. 8) (U.S.G.S., Water Resources Data for Colorado 1890 bis 1973). Ein im ganzen gesehen ähnliches, wenn auch etwas ausgeglicheneres Bild ergeben die Daten der Meßstelle am Conejos bei Mogote (Karte 2).

Es kann also festgehalten werden, daß die hohe Variabilität der Abflußspenden im San Luis Becken häufig zu Versorgungsengpässen führt; zudem steht der Bewässerungswirtschaft aufgrund langfristig verringerter Abflußspenden erheblich weniger Wasser zur Verfügung. In einer intensivierten Ausbeutung der umfangreichen GW - Reserven bot sich indessen die Möglichkeit, den starken saisonalen Schwankungen des Wasserdargebots wirksam zu begegnen. Hierauf sowie auf die damit verbundene Problematik wird nachfolgend in Kapitel 4.3.2. einzugehen sein.

3.5.2. Das Grundwasser

In das mehr als 1 000 m mächtige Sedimentpaket des San Luis Beckens (vgl. Kapitel 3.1.) sind im Südwesten zahlreiche Lavaergüsse und Tufflagen eingeschaltet, die nach Osten hin abtauchen (s. Abb. 1). Im mittleren und nördlichen Talbereich liegen in 15 m bis 40 m Tiefe Tonhorizonte; sie sind 3 m bis 25 m mächtig und keilen am Beckenrand aus. Die Tonschichten und Lagen vulkanischen Gesteins schränken die vertikale Bewegung des GW's ein und ermöglichen die Bildung gespannter GW - Reserven (EMERY et al. 1971, Sheet 1).

Die gesamte wasserführende Sedimentfüllung des Untersuchungsgebiets läßt sich somit unterteilen in einen ungespannten GW - Leiter und in mehrere gespannte GW - Stockwerke.¹ Die artesischen GW - Leiter erhalten ihren Zufluß hauptsächlich aus den Gebirgsflüssen, die teilweise oder vollständig innerhalb ihrer eigenen Schwemmfächer versickern. Wasserentzug erfolgt vorwiegend durch Quellen und Brunnen. Zudem steigt gespanntes GW in den ungespannten GW - Leiter auf. (Die Nutzung des artesischen GW's wird in Kapitel 4.3.1. zu erörtern sein.)

Ungespanntes GW findet sich fast überall im S. L. V.. Die Mächtigkeit dieses GW - Leiters beträgt zwischen 15 und 60 m. Im allgemeinen ist der Flurabstand des GW's geringer als 3,7 m; Ausnahmen bilden der Beckenrand

1) Die innerhalb der Talsedimente des S. L. V. gespeicherten GW - Reserven umfassen mindestens 2 500 Mrd.m³ (EMERY et al. 1971, Sheet 1).

sowie der größte Teil von Costilla County im Südosten (Karte 6). Der Flurabstand ist im wesentlichen abhängig von der Topographie bzw. den natürlichen Drainagebedingungen, von der Entfernung von Gewässern und unisolierten Kanälen sowie deren Wasserstand, von den saisonalen GW - Entnahmeraten und den Zuflußraten aus bewässertem Areal.

Ist der GW - Flurabstand zu gering und treten Stauwassererscheinungen auf, so hat dies Auswirkungen vielfältiger Art. Beispielsweise wird der Verdunstungsprozeß intensiviert, wodurch in Boden und GW eine beschleunigte Konzentration wachstumsschädigender löslicher Salze erfolgt. Darüberhinaus verringert sich das Bodenluftvolumen, was bei den Kulturpflanzen gleichfalls toxische Erscheinungen hervorruft. Aus den genannten Prozessen resultiert eine erhebliche qualitative Beeinträchtigung des Bodens als Anbaumilieu. Die bei hohen Verdunstungsraten eintretende Qualitätsminderung des GW's äußert sich unter anderem in der Erhöhung der Neutralsalz- und Natriumkonzentrationen. (Eine ausführliche Besprechung der Wasserqualität sowie ihrer Bedeutung für den Bewässerungsfeldbau wird in Kapitel 3.5.3. erfolgen.)

Zufluß erhält der ungespannte GW - Leiter in der Hauptsache durch versickerndes Bewässerungswasser sowie durch Sickerwasser aus Kanälen und Gräben. In geringerem Umfang ergänzen auch die zahlreichen Wasserläufe und Niederschläge auf den Talboden seine Vorräte.

3.5.3. Die Wasserqualität

Die Qualität des Bewässerungswassers wird vorwiegend durch die Ermittlung des Gehaltes an gelösten Stoffen bestimmt. Hierfür gibt es verschiedene Verfahren.

Von Bedeutung ist zunächst die Feststellung der Gesamtsalzkonzentration. Dabei erweist sich die Untersuchung der Leitfähigkeit des Wassers - diese beruht auf der Fähigkeit gelöster Salze, elektrischen Strom zu leiten - insofern gegenüber der Ermittlung der Konzentration gelöster Stoffe auf Prozentbasis in ppm (parts per million = Teile pro 1 Million Teile; 0,1 % entspricht 1 000 ppm) als vorteilhafter, als dabei die stark dissoziierten und damit gefährlicheren Bestandteile erfaßt werden (s. Tab. 1).

Maßgebliche Aussagen erlaubt überdies die Ermittlung der Konzentration gelöster Stoffe (Milligramm pro Liter) in Verbindung mit der Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des Wassers. Häufig ist die Kenntnis des Natriumanteils im für die Bewässerung bestimmten Wasser von besonderer Bedeutung. Da die austauschbaren Kationen der Bodenkolloide mit den Ionen der Bodenlösung im Gleichgewicht stehen, wird bei einer Erhöhung der Natriummenge von den Bodenkolloiden mehr davon adsorbiert. Aus diesem Vorgang resultiert eine Zunahme des pH - Wertes, die auch als Alkalisierung bezeichnet wird. Als Maß für den Natriumanteil im Wasser wurde vom U. S. Salinity Laboratory (1953) der Begriff 'sodium adsorption ratio' (SAR) oder Natriumadsorptionsverhältnis eingeführt.

Das dem San Luis - Becken zufließende Wasser ist, wie allgemein im Hochgebirge, von hervorragender chemischer Qualität. Ausnahmen bilden der Little

Kerber und der Kerber Creek (beide nördlich von Saguache) sowie der Alamosa River im Südwesten (vgl. Karte 1), die Bergwerksabwässer aufnehmen.

Im hydrologischen Jahr 1967/68 wurden an 32 repräsentativen Flüssen periodisch Messungen der elektrischen Leitfähigkeit sowie des Gehaltes an gelösten Stoffen durchgeführt. Letztere traten in Konzentrationen zwischen 25 und 425 mg/l auf. In den von Bergwerksabwässern freien Wasserläufen überwiegen Bikarbonat und Kalzium. Sind in den Flüssen jedoch solche Abwässer enthalten, so ist Sulfat dominant. Die elektrische Leitfähigkeit lag nur bei 4 der 32 Flüsse über 500 Micromhos/cm (EMERY et al. 1973, S. 6).

In Abb. 9 sind Konzentration und Quantität der vom R. G. - River mitgeführten gelösten Stoffe graphisch dargestellt. Stromabwärts ist generell eine Zunahme der Gesamtsalzkonzentration (mg/l) bzw. der elektrischen Leitfähigkeit zu verzeichnen. Die stärkste Zunahme indessen erfolgt - ungeachtet der Jahreszeit - zwischen Alamosa und der Mündung des Trinchera Creek (s. Karte 1), danach bleibt sie vergleichsweise konstant bzw. nimmt geringfügig ab.

Die Quantität der pro Tag mitgeführten gelösten Stoffe sei an der für den 10. September 1968 eingetragenen Kurve aufgezeigt. Sie verringert sich auf dem Stromabschnitt Del Norte - Monte Vista von ca. 90 t auf annähernd 15 t/Tag entsprechend der Entnahme für Bewässerungszwecke. Von Monte Vista bis zur Mündung des Trinchera Creek ist jedoch wieder eine deutliche Zunahme festzustellen, die vor allem auf den Rückfluß versalzten Wassers aus bewässertem Areal zurückgeht. Da zwischen der Trinchera - Mündung und der Staatsgrenze Colorado - Neumexiko im Bereich der San Luis Hills der Wasserrückfluß minimal ist bzw. entfällt, verändert sich hier - von geringfügigen Schwankungen

abgesehen - die Gesamtmenge gelöster Stoffe kaum mehr. Die Kurven insgesamt spiegeln die variierende monatliche Wasserführung und indirekt auch die entsprechenden Entnahmemengen wider.

Die Wasserentnahme aus dem R. G. - River durch die großen Bewässerungskanäle erfolgt in der Hauptsache zwischen Del Norte und Alamosa, also auf dem Flußabschnitt mit guter Wasserqualität. Weiter flußabwärts ist die Entnahme unbedeutend.

Die für Bewässerungszwecke erforderliche Wassermenge wird in Jahren mit reichlichen Abflußspenden zu etwa 20 %, in Wassermangeljahren über 50 % aus den GW - Vorräten gedeckt. Den Hauptteil hiervon liefern im Normalfall ausfließende artesische Brunnen, von denen viele zur Erhöhung der Schüttungsmenge gepumpt werden. In Dürreperioden hingegen wird die größere Menge des Bewässerungswassers dem ungespannten GW - Leiter entnommen.

Die chemische Qualität des ungespannten GW's ist in der Randzone des Beckens ausgezeichnet; die elektrische Leitfähigkeit liegt dort gewöhnlich unter 250 Micromhos/cm. Bikarbonat und Kalzium sind die Hauptbestandteile (EMERY et al. 1973, S. 15).

Zur Talmitte hin tritt eine deutliche Qualitätsverschlechterung des GW's ein; die wiederholte Förderung und Rückkehr in den Bewässerungskreislauf intensiviert die Lösung von Salzen aus den Talsedimenten und deren Konzentration im GW und im Boden. In Gebieten mit geringem Flurabstand des GW's führt die intensive Verdunstung zu höheren Salzanreicherungsraten, auch im GW.

Karte 7 zeigt, daß sich auf dem Weg zur Beckenmitte mit der Konzentration gelöster Stoffe auch die chemische Zusammensetzung des Wassers ändert. Im Bereich mit geringem und mittlerem Versalzungsgrad bilden

Bikarbonat und Kalzium die Hauptbestandteile. Nimmt die Versalzung zu, so wird infolge von Kalziumausfällung und Ionenaustausch das Natrium-Ion zum vorherrschenden Kation. Bei Leitfähigkeitswerten um 1 000 Micromhos/cm innerhalb von Bereichen mit starker Versalzung ist Natrium dominant.

Aus Karte 8 ist zu ersehen, daß der Übergang von Zonen mit mittlerem zu solchen mit hohem Natriumanteil im GW sich innerhalb kurzer Distanzen vollzieht. Im Bereich mit hohem Natriumanteil enthält das Wasser Bikarbonat, Sulfat und Chlorid zu etwa gleichen Teilen. Leitfähigkeitswerte bis 32 000 Micromhos/cm begrenzen neben hohem Natriumgehalt die Verwendungsmöglichkeit des Wassers für Bewässerungszwecke (EMERY et al. 1973, S.15).

Im ungespannten GW des R. G. - Schwemmfächers wurden darüberhinaus auffallend hohe Nitrat - Konzentrationen festgestellt. Diese Werte gehen vermutlich auf die intensive Düngung (mit Kunstdünger) während der vergangenen 15 Jahre zurück, da POWELL (1958) eine Nitratanreicherung nicht erwähnt. Wasser mit einem Nitratgehalt von mehr als 45 mg/l ist als Trinkwasser unbrauchbar; bei seiner Verwendung für die Bewässerung jedoch liefern 1 000 m³ ca. 8 kg Stickstoff.

Eine gewisse Kontrolle des Nitratgehaltes im GW wäre möglicherweise über eine ökonomischere Verwendung von Dünger - ohne dabei Ertragseinbußen in Kauf nehmen zu müssen - zu erreichen.

Der Nitratgehalt im ungespannten GW ist sehr unterschiedlich; er ist vorwiegend abhängig von der Tiefe, d.h. Brunnenwasser aus 15 m Tiefe weist eine höhere Nitratkonzentration auf als solches aus 30 m Tiefe (EMERY et al. 1973, S. 15).

Wie das ungespannte, so ist auch das gespannte GW in der Nähe des Beckenrandes von sehr guter chemischer Qualität; die elektrische Leitfähigkeit beträgt dort

in der Regel weniger als 200 Micromhos/cm (Karte 9). Seine Güte spiegelt die Qualität des frisch zuströmenden Wassers wider.

Wie aus Karte 10 ersichtlich, ändert das gespannte GW auf dem Wege zum Beckeninnern aufgrund der chemischen und physikalischen Einwirkung der Tonschichten, des Ergußgesteins sowie der Minerale der Sedimente seine chemische Zusammensetzung. Der Ionenaustausch mit den Tonen des GW - Leiters bewirkt bei fortschreitender Kalziumverarmung eine Natriumanreicherung. Infolge der Hydrolyse der Silikate steigt der pH - Wert des Wassers in diesem Bereich an und wird alkalisch. Bikarbonat und Natrium bilden die Hauptbestandteile des gespannten GW's in Nähe des Beckenzentrums. Die Zone mit mittlerem und hohem Natriumgehalt ist innerhalb des gespannten GW - Leiters ausgedehnter als im ungespannten (vgl. Karte 8 und Karte 10). Sein Wasser wird selbst noch bei hohem Natriumgehalt für Bewässerungszwecke verwendet. Da jedoch im selben Talbereich der Anteil der Tonfraktion in den Böden sehr hoch ist (s. Karte 4), besteht hier die Gefahr einer Ausflockung der Tonminerale und damit einer Verringerung der Bodenpermeabilität mit entsprechenden Auswirkungen auf Pflanzenwachstum und Erträge.

Im zentralen Teil des Abflußlosen Beckens ist das artesisches GW in Tiefen zwischen 30 und 300 m von bräunlicher Farbe und enthält Wasserstoffsulfid. Der Farbstoff selbst gilt als unschädlich, er tritt jedoch überwiegend in Verbindung mit hohem Fluorgehalt, hohem bis sehr hohem Salzgehalt, mittlerem bis hohem Natriumanteil sowie dem genannten Gas auf. Die organischen Derivate, die das hauptsächlich Bikarbonat und Natrium enthaltende Wasser braun färben, könnten auf fossile Torfablagerungen innerhalb verschütteter limnischer Sedimente zurückgehen (EMERY et al. 1973, S. 20).

POWELL (1958) klassifizierte mit Hilfe eines Diagramms Grund- und Oberflächenwasser im San Luis - Becken nach dessen Eignung für die Bewässerung (Abb. 10). Nach RICHARDS (1954) wählte er Leitfähigkeit und Natriumadsorptionsverhältnis als Kriterien.

Es erweist sich, daß sowohl Grund- als auch Oberflächenwasser im S. L. V. infolge ihrer chemischen Zusammensetzung generell für die Bewässerung gut geeignet sind. Insbesondere das Oberflächenwasser zeichnet sich durch extrem geringen Salz- und Natriumgehalt aus. Auch gespanntes GW ist ohne weiteres für Bewässerungszwecke verwendbar, weist bisweilen allerdings bei mittlerem Salzgehalt sehr hohe Natriumwerte auf. Das ungespannte GW ist indessen von höchst unterschiedlicher Qualität. Die Schwankungsbreite reicht von nahezu salz- und natriumfreiem Wasser bis zu solchem, dessen hohe Leitfähigkeit und/oder Natriumadsorptionsverhältnis eine Verwendung als Bewässerungswasser ausschließen.

Die Gefahr einer Natriumadsorption im Boden ist vom Grad der Salinität des Irrigationswassers abhängig, d. h., je höher diese ist, desto kleiner ist der Spielraum für die gleichzeitig noch tragbare Menge von Natriumionen. Die in Abszissenrichtung eingezeichneten Grenzlinien verlaufen demzufolge von links oben nach rechts unten. Der Bereich, der für Bewässerung nicht mehr in Frage kommt, liegt in Abb. 10 oberhalb und rechts der eingezeichneten stärkeren Linie und ist schraffiert. Es zeigt sich einerseits, daß ein hoher Anteil an Natriumionen das Wasser für Bewässerungszwecke unbrauchbar macht (N 4), auch wenn keine oder nur geringe Salinität vorliegt. Andererseits gilt für den Salzgehalt ebenfalls ein oberer Grenzwert (L 4), selbst wenn der Natriumanteil niedrig ist.

In das Diagramm wurden die entsprechenden Werte von 62 Proben aus dem gespannten GW - Leiter, 246 Proben aus dem ungespannten GW - Leiter und 41 Proben aus dem Oberflächenwasser, insgesamt 349, eingetragen. Von 32 weiteren Proben wiesen 22 - davon waren 21 dem ungespannten GW und eine dem Oberflächenwasser entnommen - zu hohen Natriumgehalt auf, um im Diagramm noch zu erscheinen. 10 Proben, davon 5 aus dem ungespannten GW und 5 aus dem Oberflächenwasser, wurden aufgrund ihrer sehr niedrigen Natrium- und Leitfähigkeitswerte nicht aufgenommen.

Eine allgemein verwendbare Bewertung der Wasserqualität anhand der elektrischen Leitfähigkeit und des Natriumanteils wurde von THORNE & PETERSON (1954) vorgenommen (s. Tab.1). Bei hoher Konzentration im Boden beeinflussen die gelösten Stoffe das Pflanzenwachstum. Dies geschieht zum einen indirekt über die Änderung des physikalischen Zustandes der Böden; dabei wirkt besonders das Natrium auf die Tonfraktion ein und verringert die Permeabilität. Staunässeerscheinungen und mangelnde Durchlüftung des Bodens bringen Ertragseinbußen mit sich. Zum anderen verursacht ein hoher Gehalt an gelösten Stoffen ein Ansteigen des osmotischen Druckes der Bodenlösung sowie eine Anreicherung schädlicher Ionenmengen innerhalb der Pflanze. Wasseraufnahmefähigkeit und Wachstum werden dadurch erheblich beeinträchtigt.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß das dem San Luis Becken zufließende Oberflächenwasser wegen seiner chemischen Qualität für die Bewässerung gut geeignet ist. Beim R. G. - River macht sich jedoch aufgrund des Rückflusses aus bewässertem Areal flußabwärts zunehmend eine Qualitätsverschlechterung bemerkbar. Auch beim GW ist die chemische Qualität in der Randzone des Beckens ausgezeichnet. Zur Becken-

mitte hin tritt indessen im gespannten wie auch im ungespannten GW eine deutliche Zunahme des Salz- und Natriumanteils ein.

Vor allem auf den feintexturierten Böden des Beckeninnern ist deshalb darauf zu achten, daß es bei Verwendung natriumreichen GW's für die Bewässerung nicht zur Ausflockung der Tonminerale kommt. Gegebenenfalls sollte vom gespannten auf ungespanntes GW (oder umgekehrt) übergegangen oder aber auf andere Brunnen ausgewichen werden, da die Wasserqualität zwischen den GW - Leitern und sogar im selben GW - Speicher innerhalb kürzester Distanzen stark variieren kann.

3.5.4. Der Wasserhaushalt

Der Oberflächenabfluß aus den randlichen Gebirgsflanken stellt den bei weitem wichtigsten Faktor in der Wasserversorgung des S. L. V. dar. Er liefert, direkt oder indirekt, nahezu das gesamte, für die Bewässerung verwendete Wasser. Das Oberflächenwasser wird nicht nur direkt über die großen Kanäle den zu bewässernden Feldern zugeführt, sondern sorgt auch für die Auffüllung der verschiedenen GW - Stockwerke des Beckens. Dagegen spielen die vergleichsweise geringen Niederschläge auf den Talboden für die Wasserversorgung der Bewässerungsoase keine große Rolle, sie ergänzen aber die der Landwirtschaft zur Verfügung stehende Wassermenge sowie die GW - Vorräte in gewissem Umfang.

In Tab. 2 ist die durchschnittliche jährliche Wasserbilanz des S. L. V. dargestellt. Der mittlere jährliche Oberflächenzufluß (Ermittlungszeitraum 1924 bis 1969) beträgt etwa 1,948 Mrd. m^3 . Die tatsächlich zufließenden Jahresmengen schwankten allerdings zwischen dem Minimum von 0,916 Mrd. m^3 (1951) und dem Maximum von 3,431 Mrd. m^3 (1941).

Etwa 80 % des Zuflusses kommen aus der Westflanke, die übrigen 20 % aus der Ostflanke des Beckens. Die Wasserabgabe durch Evapotranspiration im Talbereich beläuft sich im Durchschnitt pro Jahr auf ca. 86 % des zugeführten Wassers (N + V). Dies bedeutet, daß auf diesem Wege jährlich nahezu 3 Mrd. m^3 an die Atmosphäre abgegeben werden. Hiervon entfallen ca. 1,7 Mrd. m^3 auf Feldfrüchte und die verbleibenden 1,3 Mrd. m^3 auf wirtschaftlich nicht nutzbare Vegetation, vorwiegend Sarcobatus und Distichlis (vgl. Kap. 3.3.).

Etwa 14 % des zugeführten Wassers verlassen das Tal in Form von Oberflächenwasser oder GW.

3.5.5. Zusammenfassung

Das San Luis - Becken ist gegliedert in einen vom R. G. - River entwässerten südlichen und einen abflußlosen nördlichen Bereich. Das Wasserdargebot setzt sich zum überwiegenden Teil aus Oberflächenzufluß von den angrenzenden Gebirgsketten zusammen. Entsprechend der sehr unterschiedlichen Ausdehnung der Flußgebiete liefern die Gebirgsmassive im Westen die weitaus größte Abflußmenge, während aus der östlichen Gebirgsflanke der Zustrom vergleichsweise gering ist. Die hohe Variabilität der Jahresabflußmenge ist kennzeichnend für sämtliche Flüsse im Hochgebirgsbecken. Die Verteilung der Jahresmenge auf die einzelnen Monate ist sehr ungleich, wobei in der Regel aber ca. 70 % von April bis Juli zum Abfluß gelangen. Generell läßt sich beim Oberflächenzufluß seit den Zwanziger Jahren, in denen durchweg hohe Abflußspenden zu verzeichnen waren, eine deutliche Abnahme feststellen. Die Abflußhöhen der Zeit vor 1930 wurden bisher nicht wieder erreicht.

Der geologische Aufbau der Sedimentfüllung des Beckens ermöglichte die Bildung gespannter GW - Vorräte, sodaß sich ein ungespannter und mehrere gespannte GW - Stockwerke unterscheiden lassen. Auffallend ist, daß sich vom Beckenrand zum Innern hin die Qualität des ungespannten wie auch des gespannten GW's deutlich verringert. Die Qualität des zufließenden Oberflächenwassers ist ausgezeichnet.

Aus der extremen saisonalen Variabilität der Abflußspenden sowie den starken Schwankungen des Abflusses von Jahr zu Jahr ergeben sich für den bewässerten Feldbau erhebliche Probleme. In der ungleichen Ost-West-Verteilung des Zuflusses liegt eine der Ursachen dafür, daß sich in der östlichen Beckenhälfte der Bewässerungsfeldbau nur in begrenztem Umfang entwickelte.

4. Landnahme und Erschließung der Wasserreserven

Die Besprechung der natürlichen Gegebenheiten machte deutlich, daß landwirtschaftlicher Anbau im San Luis - Becken allein auf der Basis der Feldbewässerung möglich ist. Bei der Inwertsetzung des Raumes mußte demnach parallel zur Besiedlung eine systematische Erschließung der vorhandenen Wasserreserven erfolgen. Nachfolgend wird daher der Verlauf der zeitlichen und räumlichen Entwicklung von Besiedlung und Wassernutzung aufzuzeigen sein, wobei Schwerpunkte und Probleme erkennbar werden.

4.1. Landnahme

Vor Ankunft der weißen Siedler gab es im S. L. V. keine festen Siedlungen, das Gebiet wurde jedoch häufig von jagenden Ute-, Navajo- und Komantchen-Indianern durchstreift (WILSON 1971, S. 203). Zwischen 1630 und 1640 drangen erstmals Mexikaner aus dem R. G. - Tiefland in das Tal vor, ohne sich jedoch dort niederzulassen. Ein Großteil des heutigen Conejos County ging im Jahre 1842 durch einen Schenkungsakt der mexikanischen Regierung in den Besitz einiger weniger Familien über. Sechs Jahre später (1848), nach dem Krieg der Vereinigten Staaten gegen Mexiko, kam durch den Vertrag von Guadalupe Hidalgo mit den eroberten Gebieten auch das S. L. V. an die U. S. A.. Im Jahre 1851 entstand in Conejos County am Culebra Creek die älteste Siedlung Colorados, San Luis. 1852 wurde hier der People's Canal zur Bewässerung von ca. 365 ha fertiggestellt, für den vom

District Court of Costilla 1890 das erste Wassernutzungsrecht¹ (Priority No. 1) verliehen wurde (Irrigation in Colorado (1852 - 1952) 1952, S. 3).

Während der darauffolgenden zehn bis zwölf Jahre entwickelten sich neue Siedlungen vorwiegend im Bereich des Costilla- und des Culebra Creek sowie im Tal des Conejos River (hier wurde 1855 der Ort Conejos gegründet, s. Karte 2); sie blieben somit auf den Süden des S. L. V. beschränkt. Erste Siedlungen in der Nordhälfte des Beckens entstanden in den Jahren 1866 und 1867 am Rio Grande, San Luis- und Saguache River (s. Karte 1).

Bis 1870 wurden am Carnero-, La Garita-, Alamosa- und La Jara River zahlreiche weitere Bewässerungsfarmen angelegt. Diese Gründungen, mit Ausnahme derjenigen in der Umgebung von Conejos, konzentrierten sich jedoch auf die randlichen Bereiche des Beckens bzw. die kleineren Flußtäler. Die dort entstandenen Betriebe waren fast ausnahmslos auf Viehzucht, verbunden mit Alfalfa - Anbau zur Winterfütterung ihrer Rinderherden, ausgerichtet. Während der Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmonate standen dem Vieh im noch überwiegend siedlungsfreien Talinnern ausgedehnte Weideflächen zur Verfügung.

Aufwendige Kanalnetze für Bewässerungszwecke wurden von den Mexikanern nicht angelegt; ihre Siedlungen

1) In Colorado wie in sieben weiteren Staaten des amerikanischen Westens (Arizona, Neumexiko, Idaho, Montana, Nevada, Utah und Wyoming) ist ausschließlich das Erstlingsrecht (doctrine of prior appropriation) gültig. Dies bedeutet, daß jedem Landbesitzer unbeanspruchtes Wasser (Oberflächenwasser, GW, Überschuß- oder Dränagewasser) in beliebiger Menge für eine nutzbringende Verwendung (beneficial use) zur Verfügung steht, solange dadurch die älteren (Vor-)Rechte anderer nicht beeinträchtigt werden. Dabei gilt der Rechtsgrundsatz: prior in tempore potior in jure.

waren demnach notgedrungen auf die kleineren Täler, die Randzone des Beckens sowie die unmittelbar an die perennierenden Flüsse angrenzenden Gebiete beschränkt.

Um 1873 siedelten die ersten US - Amerikaner im S. L. V.; auch die von ihnen bewässerte Fläche beschränkte sich jedoch zunächst auf die Nebentäler. Manassa, nach Conejos die zweite Siedlung im zentralen Teil des Beckens, wurde um 1878 von Mormonen gegründet (R. G. Joint Investigation 1938, S. 66). Nach dem Bau der Denver & Rio Grande Railroad (vgl. Karte 8), deren S. L. V. - Streckenabschnitt im Jahre 1878 fertiggestellt wurde (Folks and Fortunes 1949, S. 23), wuchs die Zahl der Siedler rasch an. Die Stadt Alamosa - heute wirtschaftliches und kulturelles Zentrum des Untersuchungsgebietes - wurde damals am Schnittpunkt von Bahntrasse und R. G. - River angelegt.

4.2. Erschließung und Nutzung des Oberflächenwassers

Der Bewässerungsfeldbau im S. L. V. war von anfangs völlig auf die Entnahme von Oberflächenwasser angewiesen. Diese Abhängigkeit blieb bis etwa Mitte dieses Jahrhunderts bestehen; sie erwies sich aber während der damals auftretenden Dürreperioden insofern als besonders nachteilig, als sie gravierende Engpässe in der Wasserversorgung zur Folge hatte. Obschon man seither die GW - Reserven in hohem Maße in die Versorgung der Bewässerungswirtschaft einbezogen hat, fungiert der Oberflächenabfluß nach wie vor als wichtigster Wasserlieferant der Bewässerungswirtschaft.

Die Feldbewässerung im San Luis - Becken nahm ihren Ausgang von den Nebenflüssen des R. G. - River (vom Culebra und La Jara Creek sowie vom Conejos, San Antonio und Costilla River), da es technisch und finanziell weniger aufwendig war, den Flußläufen mit geringerer Wasserführung Wasser mittels kleiner Kanäle zu entnehmen als dem R. G. - River.

Die Wasserentnahmerechte (water priorities) garantierten bis 1878 mangels weiterer Nachfrage lediglich $1,02 \text{ m}^3/\text{s}$ primäre Wasserentnahme aus dem R. G. - River gegenüber $58,2 \text{ m}^3/\text{s}$ aus den Nebenflüssen. Eine großzügige Erweiterung der Bewässerungsfläche war bei einer Wasserentnahme aus den weniger bedeutenden Flüssen allein in diesem Stadium nicht mehr möglich. Der Bau leistungsfähiger Kanalsysteme zur Nutzung des R. G. - Abflusses war daher unumgänglich.

Im Jahre 1879, nach Fertigstellung der Trasse der Denver & R. G. - Railroad, begannen die Arbeiten am R. G. - Canal, dem heute größten Kanal des Tales. Dieses 1881 fertiggestellte Bauwerk leitete eine rege

Bautätigkeit im darauffolgenden Jahrzehnt ein, in dessen Verlauf die Mehrzahl der großen Kanäle am R. G. - River entstand (Karte 11).

Im Abflußlosen Becken wurden nach dem R. G. - Canal zwischen 1881 und 1890 der S. L. V. -, der Costilla-, der Prairie- und der Farmers' Union Canal gebaut. Nach der Vollendung des Monte Vista- und des Empire Canal konnte auch der Südwesten des Tales mit R. G. - Wasser beliefert und für die Feldbewässerung erschlossen werden. Alle genannten Kanalsysteme zweigen zwischen Del Norte und Alamosa vom R. G. - River ab. Sie reichen durchschnittlich 50 bis 65 km nach Norden und Süden und überziehen die gesamte westliche Talhälfte mit einem Netz von Sekundärkanälen und Gräben (s. Karte 11 und Tab. 3).

Zwischen 1881 und 1890 wurden Wasserentnahmerechte über $226,6 \text{ m}^3/\text{s}$ für die Flüsse im Südwesten des Tales (R. G. - River, aber auch Alamosa- und La Jara Creek, Conejos- und San Antonio - River) vergeben (R. G. Joint Investigation 1938, S. 66). Die Höhe der neu zugeteilten Wassermenge (nahezu das Vierfache der Gesamtzuteilung vor 1881) und die Verdoppelung der insgesamt bewässerten Fläche von 59 500 auf 123 000 ha innerhalb des genannten Zeitraums von zehn Jahren spiegeln die dynamische Entwicklung der Bewässerungswirtschaft wider.

Von 1890 bis 1900 blieb die Weiterentwicklung des Kanalnetzes mit wenigen Ausnahmen auf das vom R. G. - River mit Wasser belieferte Gebiet beschränkt; hierfür wurden Wasserrechte über nahezu $84\,960 \text{ m}^3/\text{s}$ zugeteilt (R. G. Joint Investigation 1938, S. 67). Der Ausbau des Kanalnetzes in den übrigen Gebieten machte vergleichsweise geringe Fortschritte; hier, an den kleineren Flußläufen waren die Wasserentnahmerechte vielfach soweit vergeben, daß die geringen Abfluß-

mengen voll ausgeschöpft wurden.

Kurz vor der Jahrhundertwende war auch für den R. G. - River die Grenze der Entnahme aus der natürlichen Abflußmenge (vgl. Kapitel 3.5.1.) erreicht; daraufhin wurde der Bau von Speichieranlagen erwogen.

Während der beiden ersten Jahrzehnte dieses Jahrhunderts erfolgte im Conejos - San Antonio - Gebiet sowie im Gebiet des Trinchera (vgl. Karte 1) eine Erweiterung des Kanalnetzes; im ersteren wurden $31\,152\text{ m}^3/\text{s}$, im letzteren $28\,288\text{ m}^3/\text{s}$ zugeteilt.

Die insgesamt in diesem Zeitraum vergebenen Wasserrechte betrugen etwa $96\,288\text{ m}^3/\text{s}$ (R. G. Joint Investigation 1938, S. 67).

Da bis 1920 für sämtliche Gewässer Wasserrechte sogar über die durchschnittlichen Abflußmengen hinaus (overadjudication) bewilligt waren, hat man seither das Kanalnetz nicht mehr wesentlich erweitert.

Wurde bisher auf den Bau des Kanalsystems eingegangen, so ist im folgenden zu zeigen, inwiefern geologische Bedingungen hohe Wasserverluste verursachen und dadurch die Bewässerungswirtschaft wesentlich beeinträchtigen. Die Sedimente des S. L. V. sind in den Beckenrandlagen sehr grobkörnig; dies bedeutet, daß die großen, durchweg oberirdisch verlaufenden, nicht isolierten Kanäle, welche vorwiegend in dieser Randzone anzutreffen sind (vgl. Karte 11), extrem hohe Sickerverluste aufweisen.

In Tab. 4 wird am Beispiel des Farmers'Union Canal im Westen des Abflußlosen Beckens gezeigt, welche Verluste durch Versickerung und - in geringerem Maße - durch Verdunstung auftreten. Der Gesamtverlust auf der 43 km langen Kanalstrecke beläuft sich auf ca. 30 % der zugeführten Wassermenge (2 von insgesamt $6,1\text{ m}^3/\text{s}$); auf den letzten 17 km versickern sogar 70 % in den Sedimenten des R. G. - Schwemmfächers. Im Bountiful Canal auf den Sedimenten des Conejos River (Südwesten

des S. L. V.) versickern auf einer Laufstrecke von nur 8 km über 57 % des zugeführten Wassers (Tab.5).

Auf den Schwemmfächern am Fuß der Sangre de Cristo Mountains im Osten sind die Sickerverluste in Kanälen ebenfalls sehr hoch. Speziell für dieses Gebiet ist das Auskleiden zahlreicher Kanalabschnitte mit Beton und das Verlegen von Pipelines zur Abdichtung projektiert¹. Aufgrund derartiger Maßnahmen könnten der Bewässerungswirtschaft zusätzliche Wassermengen zur Produktion von Pflanzenmasse bereitgestellt werden.

Weniger die hohen Kosten behindern jedoch eine zügige Realisierung derartiger Projekte als vielmehr das noch fehlende Wissen um die möglichen Auswirkungen weiträumiger Kanalabdichtungen in den Randzonen auf den Zufluß zum gespannten GW - Leiter (Irrigation Water Management Study 1969, S. 7).

Bei der Auskleidung von Kanälen in ihrer Gesamtlänge muß mit der Verringerung der Zufuhr auch zum ungespannten GW - Leiter gerechnet werden, dessen Vorräte überwiegend durch Sickerwasser aus Kanälen, von Bewässerungsflächen sowie aus kleinen Flußläufen ergänzt werden.

Ein Absinken des ungespannten GW - Spiegels würde unter anderem zahlreiche Brunnen im Bereich des R. G. - Schwemmfächers bedrohen, auf welche sich die Bewässerungswirtschaft mehr und mehr stützt².

Auf die Bedeutung des ungespannten GW's für die Landwirtschaft im S. L. V. wird weiter unten in Kap.4.3.2. einzugehen sein.

1) Inzwischen wurden an mehreren Kanälen im Bereich des Trinchera und des Culebra Creek (Sanchez Canal, Foto 2) im Südosten des Tales Arbeiten zur Kanalabdichtung abgeschlossen.

2) In vielen Fällen lassen Farmer den ihnen rechtlich zustehenden Anteil an Oberflächenwasser ungenutzt abfließen, da sie das stets verfügbare GW für die Bewässerung vorziehen (Ergebnis eig. Umfragen).

Für Gebiete mit steigendem oder sehr hohem GW - Spiegel wären Maßnahmen zur Abdichtung der betreffenden Kanalabschnitte jedoch zweifellos von Vorteil und könnten zur Verringerung der dort bestehenden Stauwasserprobleme beitragen.

In einer Studie des S. C. S. (Irrigation Water Management Study 1969, S. 8) wird vorgeschlagen, Kanalstrecken mit hohen Sickerverlusten auf einer Länge von insgesamt 445 km mit Beton auszukleiden oder durch Pipelines zu ersetzen. Bei der Entscheidung über eine Verwirklichung dieser Empfehlung muß aber die mögliche Beeinträchtigung der Wasserzufuhr zu den beiden GW - Leitern als Kriterium gegenüber der Reduzierung von Sickerverlusten Vorrang haben.

Es ist also festzuhalten, daß eine Verringerung der Zufuhr zum ungespannten GW - Leiter auf lange Sicht vielerorts ein Absinken des GW - Spiegels nach sich ziehen könnte, während im gespannten GW - Leiter ein Absinken des Druckes eintreten würde, was zwangsläufig mit katastrophalen Folgen für das mittels artesischer Brunnen bewässerte Farmland verbunden wäre.

Starker Druckabfall im artesischen GW - Leiter erhöht überdies die Gefahr der Bodenabsenkung (EMERY et al. 1973, S. 24). Die Zusammenhänge zwischen übermäßigem Wasserentzug aus artesischen Becken und Bodensenkung werden in Kapitel 6.4. am Beispiel des Santa Clara Valley in Californien darzulegen sein.

Nach der Besprechung des Kanalsystems und der bei der Zuleitung auftretenden Sickerverluste soll im folgenden auf die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Stauseen und ihre Bedeutung für die Bewässerungswirtschaft eingegangen werden. Weiterhin wird festzustellen sein, inwieweit das Stauvolumen den heutigen Erfordernissen entspricht.

Die im San Luis - Becken während der Spätsommermonate regelmäßig auftretende Wasserknappheit (vgl. Abb. 7) macht Wasserspeicherung erforderlich. Seit Beginn dieses Jahrhunderts wurde das vorhandene Stauvolumen aber nur geringfügig vergrößert, da dies unter anderem aufgrund der bislang weithin praktizierten Wasserspeicherung im Boden als nicht notwendig erachtet wurde (Council of Governments 1974, Vol. I, S. 38).

Andrerseits standen auch die im Zusammenhang mit dem R. G. - Vertrag eingegangenen Verpflichtungen, welche schon seit 1929 (Abschluß des ersten provisorischen R. G. - Abkommens) die Errichtung von Stauseen außerhalb des Abflußlosen Beckens nur noch unter bestimmten Voraussetzungen zulassen, dem Bau weiterer Anlagen im Wege. (Auf den R. G. - Vertrag selbst und seine Auswirkungen auf die Bewässerungsoase wird in Kapitel 8 einzugehen sein.)

Die Gesamtspeicherkapazität der bestehenden Stauseen - die neun größten Anlagen fassen ca. 338,75 Mio.m³ (Tab. 6 und Karte 12) - entspricht nicht dem Bedarf. Dies bedeutet, daß in Gebieten, wo die Bewässerungswirtschaft gänzlich auf die Versorgung mit Oberflächenwasser angewiesen ist, in Jahren mit sehr geringen Abflußspenden oder in Dürreperioden zwangsläufig Ernteverluste auftreten. Wie in Kapitel 4.3. zu zeigen sein wird, wick die Bewässerungswirtschaft daher zunehmend auf andere Wasserreserven aus.

Zahlreiche Standorte für neue Speicherseen - vorwiegend im Abflußlosen Becken - wurden im Laufe der vergangenen Jahre vorgeschlagen; zu starkes Talbodengefälle sowie ungünstige geologische Voraussetzungen standen jedoch in den meisten Fällen einer Verwirklichung der Projekte im Wege. Bedingt durch Lagegunst, hydrologische Verhältnisse und Vereinbarungen des

R. G. - Vertrags befinden sich die wenigen, heute noch in Frage kommenden Standorte ohne Ausnahme im westlichen Saguache County (vgl. Karte 12).

4.3. Erschließung und Nutzung der Grundwasserreserven

Die hohe Variabilität der Abflußspenden von Jahr zu Jahr zu Jahr stellt für die Bewässerungswirtschaft ein schwerwiegendes Problem dar. Wie bereits erläutert, entsprechen die vorhandenen Stauseen bei weitem nicht den Erfordernissen; einer Vergrößerung des Gesamtspeichervolumens stehen indessen zahlreiche Hindernisse im Wege. Um den sich hieraus ergebenden Versorgungsengpässen zu begegnen, wurde in den vergangenen Jahrzehnten die Nutzung der GW - Vorräte intensiv vorangetrieben.

4.3.1. Nutzung des gespannten Grundwassers

Vor der Entdeckung artesischen GW's lieferten Brunnen im ungespannten GW - Leiter das für den häuslichen Bedarf und für das Vieh benötigte Wasser. Um 1887 stieß man zufällig auf das artesische GW. Zwei Jahre danach gab es im S. L. V. schon etwa 2 000 ausfließende artesische Brunnen (CARPENTER 1891, S. 17).

Entscheidend für die frühe und intensive Nutzung artesischen Wassers war dessen überwiegend gute Qualität sowie die niedrigen Kosten des Brunnenbaus. Für die Installierung eines artesischen Brunnens benötigte man damals ungefähr einen Tag; die Kosten betrugen etwa \$ 25. Anfangs wurde das gespannte GW vorwiegend zur Versorgung städtischer Siedlungen wie Alamosa, La Jara und Monte Vista verwendet. In den ländlichen Gebieten erfolgte seine Erschließung wenige Jahre später. Schon 1890 gab es nahezu in jeder bewohnten 'quarter

section' (Landparzelle von der Größe einer Viertelquadratmeile = 160 acres/ca. 65 ha) innerhalb des artesischen Bereichs einen oder mehrere Brunnen, die jedoch überwiegend der Deckung des häuslichen Bedarfs dienten (POWELL 1958, S. 26).

Die meisten früh angelegten artesischen Brunnen zapften die oberen GW - Stockwerke an; im allgemeinen reichen sie weniger als 60 m tief. Im Jahre 1890 befanden sich die beiden tiefsten Brunnen des Tales in Alamosa; der eine lieferte 25,2 l/s aus 264 m Tiefe, der andere - nach einer Erdölversuchsbohrung installiert - förderte 37,9 l/s aus etwa 305 m Tiefe.

Bis 1904 war die Zahl der Brunnen auf 3 234 angestiegen, und der hohe Bedarf der Bewässerungswirtschaft bewirkte, daß sie in ihrer Mehrzahl ausschließlich für die Bewässerung bestimmtes Wasser förderten (SIEBENTHAL 1910, S. 5). Auf etwa 5 000 schätzte WHITE (1916, S. 12) die Anzahl der artesischen Brunnen im Jahre 1916. Die intensive Erschließungstätigkeit hielt an, sodaß 1936 schon 7 074 Einheiten gezählt wurden (ROBINSON & WAITE 1938, S. 266). Die Schätzungen für 1952 lagen bei 7 500 (POWELL 1958, S. 27) und für 1970 bei insgesamt 7 650 artesischen Brunnen (EMERY et al. 1973, S. 20) (Abb. 11). Die Anzahl der Hochleistungsbrunnen (Kapazität > 1 900 l/s) betrug 1969 ca. 700 (Abb. 12 Gesamtzahl der Hochleistungsbrunnen).

Das Areal mit ausfließenden artesischen Brunnen umfaßte 1890 ca. 3 630 km² (CARPENTER 1891, S. 17).

Bis 1906 hatte es sich kaum verändert, während 1936 eine Erweiterung um 75 km² festgestellt wurde.

Auffallendste Veränderung zwischen 1906 und 1936 war eine Vergrößerung des Areals im Bereich des R. G. - Schwemmfächers um über 1,5 km nach Westen sowie bei Manassa am Conejos River um etwa 3 km nach Süden.

Bis 1952 fand keine weitere Verschiebung innerhalb

der artesischen Zone mehr statt (POWELL 1958, S. 27) und 1970 war die Ausdehnung des Bereichs mit ausfließenden artesischen Brunnen im ganzen gesehen wieder deckungsgleich mit derjenigen des Jahres 1906. Er umfaßt heute etwa $3\,626\text{ km}^2$ (EMERY et al. 1973, S. 20) (Karte 13).

Auch bei der Steighöhe des gespannten GW's wurde bisher keine langanhaltende Veränderung festgestellt, von der ein größeres Gebiet betroffen gewesen wäre. Allerdings verringerte sie sich in der Umgebung von Alamosa, im Südwesten von Alamosa County und im nördlichen Conejos County zwischen 1904 und 1970 erheblich, stellenweise um 10 m. Darüberhinaus treten jahreszeitliche Schwankungen auf, wobei die größte Steighöhe gewöhnlich Anfang Februar, die geringste im Hochsommer auftritt (EMERY et al. 1973, S. 20).

Es kann also festgehalten werden, daß im S. L. V. - im Gegensatz zur Entwicklung in einigen anderen artesischen Becken (hierauf wird in Kapitel 6.4. am Beispiel des Santa Clara Valley in Californien einzugehen sein) - nahezu 90 Jahre fortschreitender Erschließung und intensiver Nutzung offenbar weder die Steighöhe des gespannten GW's noch die Ausdehnung des Areals mit ausfließenden artesischen Brunnen wesentlich beeinträchtigten.

4.3.2. Nutzung des ungespannten Grundwassers

Ungespanntes GW ist nahezu im gesamten San Luis - Becken anzutreffen. Im allgemeinen beträgt der Flurabstand weniger als 6 m (s. Karte 6); im südlichen Costilla County liegt der GW - Spiegel jedoch zum Teil über 100 m tief (EMERY et al. 1973, S. 14). Die untere Begrenzung des ungespannten GW - Leiters bildet die oberste GW - Deckschicht aus Tonen, die in der Regel in einer Tiefe von 8 bis 40 m liegt (vgl. Kapitel 3.5.2.).

Die Nutzung ungespannten GW's für Bewässerungszwecke setzte im Untersuchungsgebiet vergleichsweise spät ein. Um 1880 waren die Vorräte des ungespannten GW - Leiters, der heute jährlich einige hundert Millionen Kubikmeter Wasser liefert, noch unbedeutend. Die Entstehung dieses GW - Reservoirs geht demnach vorwiegend auf die mit Beginn der Bewässerungstätigkeit einsetzende Sickerwasserzufuhr zurück.

Als beispielsweise die Gebiete im Westteil des Abflußlosen Beckens in Bewässerungsland verwandelt wurden, betrug dort der Flurabstand des GW's zwischen 15 und 30 m; der GW - Spiegel lag somit nur knapp über dem obersten stauenden Tonhorizont. Die Vorräte an ungespanntem GW waren entsprechend gering (vgl. Kapitel 3.5.2.).

Die Anlage von Brunnen im ungespannten GW - Leiter setzte wahrscheinlich in Wassermangeljahren ein. Der erste Bewässerungsbrunnen zur Entnahme aus dem ungespannten GW - Leiter wurde etwa 1903 gebaut (POWELL 1958, S. 57). Aus der Tatsache, daß 1928 ebenfalls nur ein einziger Bewässerungsbrunnen vorhanden war, läßt sich auf noch fehlendes Interesse an einer Ausbeutung der wenig entwickelten unge-

spannten GW - Vorräte während der dazwischenliegenden 25 Jahre schließen (CODE 1952, S. 51).

Die geringen Abflußspenden der Dreißiger Jahre (vgl. Abb. 8) führten indessen zu einer regen Brunnenbautätigkeit (s. Abb. 11). Im Jahre 1936 wurden 176 Brunnen gezählt, 1952 waren es schon 1 300 (POWELL 1958, S. 57). 1969 schließlich gab es im gesamten S. L. V. 2 150 Brunnen im ungespannten GW - Leiter; seit 1936 hat sich ihre Anzahl somit auf das Zwölffache erhöht (vgl. Abb. 11).

Da die Speicherkapazität der bestehenden Stauseen nicht den Erfordernissen entspricht (s. Kapitel 3.5.1.), ist der ungespannte GW - Leiter mit seinen umfangreichen und schnell verfügbaren Reserven als Lieferant für die Bewässerungswirtschaft heute unentbehrlich. Mit dem intensiven Ausbau der Förderkapazität wurde erst Anfang der Fünfziger Jahre begonnen. Abb. 12 veranschaulicht anhand der Gegenüberstellung von Rio Grande - Abfluß, Brunnenbautätigkeit und Wassernutzung, wie stark sich die ausgeprägt abflußschwachen Fünfziger und Sechziger Jahre (vgl. hierzu auch Abb. 8) auf den Bau von Hochleistungsbrunnen (large-capacity wells, Kapazität $> 1\,900\text{ l/s}$) und die GW - Entnahme auswirkten. Es wird deutlich, daß zwischen 1950 und 1969 über 1 400 Hochleistungsbrunnen allein zur Förderung von ungespanntem GW für Bewässerungszwecke installiert wurden. Von der Gesamtzahl aller Hochleistungsbrunnen im S. L. V. zapften demnach im Jahre 1969 über 70 % den ungespannten GW - Speicher an, was diesen mit Abstand zum wichtigsten GW - Lieferanten der Bewässerungswirtschaft macht. Weiterhin zeigt sich, daß das gesamte ungespannte und gespannte GW - Reservoir, welches Anfang der Fünfziger Jahre noch vergleichsweise wenig genutzt wurde, zu Beginn der Sechziger Jahre bei extrem niedrigen Abflußspenden wie z. B. 1963 mehr als

die Hälfte des Wasserbedarfs der Bewässerungswirtschaft deckte. Verfügbarkeit von Oberflächenwasser und GW - Entnahme sind umgekehrt proportional.

So betrug beispielsweise 1963 - einem Jahr mit äußerst geringem Abfluß - die Entnahme von Oberflächenwasser lediglich 764 Mio. m³, während die GW - Förderung 816 Mio. m³, also 50 Mio. m³ mehr ausmachte. Im abflußstarken Jahr 1965 dagegen konnten 2.014 Mio. m³ an Oberflächenwasser entnommen werden, sodaß zusätzlich nur 237 Mio. m³ GW zu fördern waren (vgl. Abb. 12).

Die künftige Bedeutung des ungespannten GW's für die Bewässerungswirtschaft wird in hohem Maße davon abhängen, inwieweit es gelingt, trotz partieller Abdichtung des Kanalnetzes die Auffüllung des GW - Reservoirs weiterhin zu gewährleisten.

Beispielsweise besteht die Möglichkeit, jene Wasserquoten, die infolge von GW - Nutzung heute nicht mehr in Anspruch genommen werden und demzufolge auch nicht mehr zur Auffüllung des GW - Speichers beitragen, in den Farmers' Union Canal im oberen Bereich des R. G. - Schwemmfächers zu leiten; dort würden sie im hochporösen Untergrund versickern und das GW auf diese Weise ergänzen (mdl. Mittlg. von W. H. Sweet, Bureau of Reclamation, Monte Vista).

Die besonders in Wassermangeljahren sehr hohe Entnahme aus dem ungespannten GW - Leiter (vgl. hierzu Abb. 12) blieb indessen nicht ohne negative Auswirkungen.

Eine in den Sechziger Jahren durchgeführte Untersuchung ergab, daß der R. G. - River auf dem gesamten 80 km langen Stromabschnitt zwischen Del Norte und Lasasues (nordwestlich der Conejos - Mündung) mit dem ungespannten GW - Leiter in hydraulischer Verbindung steht, und hohe GW - Entnahme auf diesem Flußabschnitt demnach durch Versickerung zur Wasserabgabe an den unge-

spannten GW - Leiter führt bzw. zur Verringerung der Wasserführung des R. G. - River beiträgt (EMERY et al. 1973, S. 22). Hieraus ergeben sich unter anderem Schwierigkeiten bei der Erfüllung der von Colorado im R. G. - Vertrag eingegangenen Lieferverpflichtungen.

Um der wasserrechtlichen und wasserwirtschaftlichen Probleme Herr zu werden, verfügten die Behörden einen Baustopp für Bewässerungsbrunnen im gesamten S. L. V. mit Ausnahme des Abflußlosen Beckens sowie im Jahre 1974 die zeitliche Beschränkung der Nutzung pumpenbetriebener Bewässerungsbrunnen. Die Installierung von Meßgeräten an sämtlichen Hochleistungsbrunnenpumpen zur Überwachung des GW - Verbrauchs der einzelnen Betriebe ist geplant (Auskünfte des R. G. W. C. D., Alamosa).

4.4. Zusammenfassung

Landnahme und Erschließung der Oberflächenwasserreserven im S. L. V. setzten um die Mitte des 19. Jahrhunderts ein und verliefen parallel. Mit der Expansion der Bewässerungsfläche ging jedoch keine entsprechende Erweiterung der Gesamtstaukapazität einher, sodaß bis in die Fünfziger Jahre Erfolg und Mißerfolg des bewässerten Feldbaus weitgehend direkt von den stark schwankenden Abflussmengen abhängig blieben.

Die in der Sedimentfüllung des San Luis - Beckens gespeicherten gespannten GW - Reserven wurden vergleichsweise früh entdeckt (1887) und alsbald ergänzend neben Oberflächenwasser zur Feldbewässerung verwendet. Negative Auswirkungen auf die Steighöhe und den Umfang des Areals mit ausfließenden artesischen Brunnen sind bisher - nach nahezu 90 Jahren kontinuierlicher Nutzung - kaum festzustellen.

Die Entstehung der ungespannten GW - Vorräte im S. L. V. geht vor allem auf die kontinuierliche Sickerwasserzufuhr aus bewässerten Talbereichen zurück. Ihre Nutzung für Bewässerungszwecke begann erst relativ spät, in den abflußschwachen Dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts. Während der ausgeprägten Dürreperiode der Fünfziger und Sechziger Jahre stieg dann die Förderkapazität sprunghaft an. Im Falle von extremen Versorgungsengpässen bzw. ungünstigen Abflußverhältnissen kann heute ein erheblicher Teil des Bedarfs der Bewässerungswirtschaft aus dem ungespannten GW - Leiter gedeckt werden. Abflußverluste durch Versickerung auf einigen Laufabschnitten des R. G. - River während der Spitzenentnahmezeiten durch Bewässerungsbrunnen machten unterdessen auf eine hydraulische Verbindung zwischen Strom und GW aufmerksam,

was ein Einschreiten der Behörden notwendig machte. Neue Bewässerungsbrunnen durften daraufhin nur noch im Abflußlosen Becken angelegt werden; gleichzeitig wurde die Betriebszeit der bestehenden Brunnenpumpen eingeschränkt. Durch diese Maßnahmen wird der ungespannte GW - Leiter weniger stark beansprucht, vor allem während der Zeiten des Spitzenbedarfs.

5. Die Bewässerungswirtschaft

Nachdem Erschließung und Nutzung der Wasserreserven in der San Luis - Senke erläutert wurden, soll sich nun die Erörterung der Anbauprodukte, Anbauschemen, Bewässerungsverfahren und der Anbauflächenausdehnung anschließen, in deren Verlauf Ursachen gegenwärtiger Probleme des Bewässerungsfeldbaus zu erkennen und Entwicklungstendenzen aufzuzeigen sein werden.

Die Landwirtschaft, beherrschender Wirtschaftszweig im San Luis - Becken, macht sich das natürliche Potential des Raumes durch die Symbiose von Bewässerungsfeldbau und Viehzucht in günstiger Weise zunutze. Während weite Teile des Tales Weideland¹ (range lands) sind, tritt der bewässerte Feldbau dort in den Vordergrund, wo das Land ausreichend drainiert und die Versorgung mit Bewässerungswasser sichergestellt ist.

Drei Talbereiche, in denen diese Voraussetzungen weitgehend erfüllt sind, konnten sich zu Zentren des landwirtschaftlichen Anbaus entwickeln. Parallel dazu bildete sich in jedem dieser Areale im Laufe der Zeit eine weitgehende Spezialisierung auf bestimmte Kulturen aus.

1) Auf diesen 'range lands' weiden fast das ganze Jahr über Rinder- und Schafherden. Lediglich während der Sommermonate wird ein Teil der Rinder zu den höhergelegenen Gebirgsweiden im Bereich der National Forests aufgetrieben.

5.1. Zur Anbauentwicklung

Die Breite der Anbaupalette im Untersuchungsgebiet wird durch die klimatischen Gegebenheiten erheblich beeinträchtigt (vgl. Kapitel 3.2.). Zahlreiche Kulturpflanzen, die in anderen US - amerikanischen Bewässerungsgebieten eine wichtige Rolle spielen, finden daher im S. L. V. keine ausreichenden Wachstumsbedingungen mehr vor.

Hauptanbauprodukte sind solche, die an eine kurze Vegetationszeit angepaßt sind, wie Kartoffeln, Gerste, Hafer, Weizen, Alfalfa sowie eine Vielzahl von Gemüsesorten.

Während der ersten Jahrzehnte der Bewässerung im San Luis - Becken beherrschte der WEIZEN den Anbau. Die vorgefundenen Wüstensteppenböden boten dafür günstige Voraussetzungen, wenn auch die frühen Siedler sich bei Urbarmachung und Anbau primitiver Methoden bedienten. Man ließ in der Regel zunächst schwere Eisenschienen von Pferden über die zu bewässernde Fläche ziehen, um so die ursprüngliche Strauchvegetation (vorwiegend Chrysothamnus und Sarcobatus, vgl. Kapitel 3.3.) zu entwurzeln. Nachdem die Sträucher verbrannt und Bewässerungsgräben zum Überfluten der Felder angelegt waren - weitere Einzelheiten hierzu fehlen in der Literatur -, wurde der Weizen ohne vorheriges Pflügen in den beim Entfernen der Vegetation gelockerten Boden ausgesät. Da sich auf den nährstoffreichen Böden zunächst ohne Düngung oder Brache hohe Erträge¹ erzielen ließen, dehnte sich die Fläche mit

1) Die Hektarerträge wurden damals statistisch noch nicht festgehalten. Vgl. hierzu jedoch Tabelle 7.

Weizenmonokulturen rasch aus (SIEBENTHAL 1910, S. 27). Parallel zur Ausweitung des Weizenanbaus entstanden in Del Norte, Monte Vista, Mosca, Hooper, Alamosa, La Jara und Conejos zahlreiche Mühlen und Getreidespeicher, Zeichen für die zunehmende landwirtschaftliche Bedeutung des Tales.

Schon zu Beginn dieses Jahrhunderts setzte jedoch ein beträchtlicher Ertragsrückgang ein; Ursache hierfür war nicht Wassermangel, sondern hauptsächlich eine infolge des Raubbaus rapide fortschreitende Nährstoffverarmung der Böden. Um ihre Regenerierung zu fördern, ging man daraufhin zum Fruchtwechsel über und schaltete Brachen ein. Futterpflanzen (Alfalfa) wurden nun auch in solchen Betrieben im größeren Umfang angebaut, die keine Viehzucht trieben und daher keinen Eigenbedarf hatten. Das Heu fand im Tal selbst und im übrigen Colorado Absatz.

Für das Verständnis der frühen wirtschaftlichen Entwicklung des Raumes wären statistische Angaben über die Ausdehnung der Weizenfläche innerhalb der gesamten Produktionsfläche im S. L. V. aufschlußreich. Da in den frühen Statistiken des Untersuchungsgebietes aber Weizen, Gerste, Hafer etc. zusammen unter der Rubrik 'Getreide' aufgeführt werden, sind eindeutige Aussagen über den Umfang der Weizenanbaufläche in dieser Zeit nicht zu machen. Aus dem Anwachsen der gesamten mit Getreide bestellten Fläche bis 1910 (84 900 ha; R. G. Joint Investigation 1938, S. 304, Tab. 3) kann jedoch generell auf eine entsprechende Erweiterung auch der Weizenanbaufläche geschlossen werden. SIEBENTHAL (1910, S. 26) unterstreicht ebenfalls die wichtige Rolle des Weizenanbaus im Rahmen der gesamten landwirtschaftlichen Produktion des Tales; an der Gesamtbedeutung des Weizens hatte sich demnach bis dahin trotz Einführung des Fruchtwechsels

nur wenig geändert.

Seit 1919 sind die verschiedenen Halmfrüchte statistisch gesondert erfaßt, sodaß sich in der Folge die Entwicklung der Weizenanbaufläche genau verfolgen läßt (Abb. 13). Es fällt auf, daß sie erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Sie umfaßt beispielsweise 1922 ca. 13 000 ha, verringert sich aber bis 1932 auf nahezu die Hälfte (6 900 ha). Nach einem kurzen Aufwärtstrend (1938 : 15 000 ha) verliert der Weizen allerdings endgültig seine Spitzenstellung. Heute hat er innerhalb der landwirtschaftlichen Produktion des Beckens keine Bedeutung (1973 : 1 800 ha, Tab. 8).

Die jährlichen Veränderungen der Weizenanbaufläche gehen in erster Linie auf die erheblichen Abflussschwankungen zurück, sie sind also eine Funktion der verfügbaren Wassermenge. Insgesamt gesehen sind jedoch die Ursachen für die schwindende Bedeutung des Weizens vor allem in den (insbesondere im Vergleich zu Kartoffeln und Braugerste) geringen Hektarerlösen¹, aber auch in den vergleichsweise hohen Ansprüchen dieses Getreides an Bewässerung (häufigere Wassergaben zur gleichmäßigen Wasserversorgung), Boden und Düngung zu suchen. Ungünstig wirkt sich zudem das zeitliche Zusammenfallen der Weizenernte mit der Haupterntezeit der Kartoffel aus (eig. Umfragen im Untersuchungsgebiet).

Die KARTOFFEL ist heute dem Werte nach das bei weitem wichtigste Anbauprodukt in der Bewässerungsoase. Die 1969 auf knapp 15 000 ha erzielte Erntemenge brachte beispielsweise 16 Mio. Dollar oder nahezu 47 % des

1) Der Kartoffelanbau im S. L. V. erbringt pro Hektar ein Mehrfaches, nicht selten das Sieben- bis Neunfache des Erlöses für Weizen (Daten des C.C.L.R.S., Denver). Vgl. hierzu auch Tab. 7.

Gesamtwertes der agrarischen Produktion des Raumes (C. O. G. 1974, S. 56).

Obgleich seit 1875 urkundlich belegt - ihre Vermarktung setzte wenige Jahre später ein -, spielte die Kartoffelproduktion bis etwa Mitte dieses Jahrhunderts der Fläche nach keine dem Weizen vergleichbare Rolle. Eine neue, qualitativ hochwertige und im Ertrag günstige Sorte konnte um 1940 gezüchtet werden. Von diesen sog. 'Red McClures', die den klimatischen Bedingungen des Tales gut angepaßt sind, gingen für den Kartoffelanbau maßgebliche Impulse aus (Folks and Fortunes 1949, S. 33).

In den Fünfziger Jahren wurde - dem sich wandelnden Verbrauchergeschmack und den Wünschen der verarbeitenden Industrie Rechnung tragend - aufgrund ihrer weitgehend einheitlichen Größe und Form die Russet Burbank - Sorte eingeführt. Auch sie wurde mit Erfolg angebaut.

Da seit Beginn der Sechziger Jahre die Nachfrage nach den Russets steigt, wächst seither auch ihr Anteil an der Gesamtkartoffelproduktion des S. L. V. kontinuierlich. Wie Tab. 9 zeigt, war die Russet - Sorte beispielsweise im Jahre 1965 mit lediglich 39 % an der Gesamterzeugung beteiligt. Sieben Jahre später (1972) umfaßte ihr Anteil jedoch schon Dreiviertel der gesamten Kartoffelernte; entsprechend verringerte sich der Anteil der McClures im selben Zeitraum auf ca. ein Fünftel. Der noch verbleibende Ernteanteil entfällt auf andere unbedeutende Sorten (Auskunft des S. L. V. P. A. C., Monte Vista).

In Abb. 14 wird die Veränderung der Kartoffelanbaufläche seit 1902 dargestellt. Die zum Teil erheblichen, überwiegend kurzfristigen Schwankungen sind auch hier eine Funktion der jeweils verfügbaren Wassermenge (vgl. Abb. 8 und Abb. 12). Im ganzen gesehen nahm die

Kartoffelanbaufläche aber bis 1937 zu. Auffallend ist, daß nun die Kurve deutlich abknickt bzw. die Produktionsfläche erheblich schrumpft. Dies dürfte zum einen auf die sich von dieser Zeit an zeigenden Auswirkungen der extrem abflußschwachen Dreißiger Jahre, zum andern aber auch in hohem Maße auf die Konsequenzen des R. G. - Vertrages zurückzuführen sein, der aufgrund fortan genau fixierter, jährlich an Neumexiko zu liefernder Wasserquoten (hierauf wird in Kapitel 8 näher einzugehen sein) eine spürbare Verringerung des verfügbaren Oberflächenwassers bewirkte. Seit etwa 1940 bewegt sich die vom Kartoffelanbau eingenommene Fläche zwischen 12 000 und 17 000 ha (vgl. Abb. 14 und Tab. 8).

Von der Gesamterntemenge an Kartoffeln entfallen im langjährigen Mittel rund 72 % auf die Handelsklasse I (US Grade Nr. I) und die verbleibenden 28 % auf die Handelsklasse II (Daten des S. L. V. P. A. C., Monte Vista). Qualitativ derart hochwertige Ernten¹ lassen sich vorzüglich - nach Lagerung unter vollklimatisierten Bedingungen - im Winter und Frühjahr als Frischkartoffeln vermarkten und bringen entsprechend hohe Erlöse.

1) Die hervorragende Qualität der S. L. V. - Kartoffel beruht vorwiegend auf ihrem ungewöhnlich hohem Anteil an Trockensubstanz, weshalb sie sich unter anderem auch vorzüglich für die Lagerung eignet. Es konnte bisher noch nicht eindeutig geklärt werden, worauf dieses Merkmal im einzelnen zurückgeht. Direkt oder indirekt dürfte es auf den Mineralreichtum der Böden, die hohe Strahlungsintensität im Hochgebirgsbecken oder auch die bei Bewässerung mögliche günstige Steuerung des Wachstums zurückzuführen sein. Wahrscheinlich wirken alle drei Faktoren zusammen (eig. Umfragen sowie Auskünfte des C. S. U. Extension Service, Alamosa). Schädlingsplagen als qualitäts- und ertragsmindernde Faktoren scheiden aufgrund der ausgeprägten und langanhaltenden Frostperiode (vgl. Kapitel 3.2.1. und Abb. 3) weitgehend aus.

Die Kartoffelpflanze ist gegenüber Bodensalzen relativ empfindlich (Abb. 15 + Tab. 10). Für ihren Anbau eignen sich nur gut dränierte, verhältnismäßig salzarme Böden, Voraussetzungen, die vor allem auf den höher gelegenen westlichen Teilen des R. G. Schwemmfächers bei weitem am besten erfüllt sind. Hier, um Center und Sargent im Abflußlosen Becken, liegt das Zentrum des Kartoffelanbaus im S. L. V.¹, welches Teile von Alamosa-, Rio Grande- und Saguache County umfaßt (vgl. Karte 14). Ein weiteres, allerdings wesentlich kleineres Anbaugelände befindet sich im Südwesten des Tales, in Conejos County, westlich von Romeo.

Neben Weizen und Kartoffeln spielte im S. L. V. auch der Anbau von GERSTE bereits in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts eine wichtige Rolle (s. Abb. 13). Auffallend ist die nahezu konstante Ausweitung der Anbaufläche seit den Vierziger Jahren; allein von 1950 bis 1973 wuchs sie von 16 000 auf 34 000 ha an (s. Tab. 8). Die Impulse für diese Expansion gingen vorwiegend von der Braugerste aus, die 1949 auf Initiative einer im Raum Denver ansässigen Großbrauerei hin wegen der

1) Zwischen 70 und 80 % der Kartoffelerzeugung im Untersuchungsgebiet kommen aus dem Abflußlosen Becken, hauptsächlich aus den höher gelegenen Bereichen des R. G. - Schwemmfächers mit seinen vergleichsweise grobtexturierten, gut dränierten Böden. In diesem Gebiet herrscht ein Fruchtfolgesystem vor, welches den Anbau von Kartoffeln und Getreide (vorwiegend Braugerste) in jährlichem Turnus vorsieht. Dieser Intensivanbau führt jedoch zu raschem Nährstoffabbau im Boden, sodaß stark gedüngt werden muß. Daneben - jedoch wesentlich seltener - wird die Fruchtfolge Alfalfa (4 Jahre) - Kartoffel (2 Jahre) - Halmfrüchte (1 Jahr) praktiziert. Dieses Rotationssystem läßt dem Boden mehr Zeit zur natürlichen Regenerierung und ermöglicht somit gute Erträge bei mäßiger Düngung (Ergebnisse eig. Umfragen). Die Hektarerträge der Kartoffel gibt Tab. 7 wider.

günstigen Wachstumsbedingungen¹ im S. L. V. eingeführt wurden (Folks and Fortunes 1949, S. 160) und seit Beginn der Sechziger Jahre den überwiegenden Teil der Gersteanbaufläche einnimmt (vgl. Abb. 13).

Gerste, weit weniger salzempfindlich als beispielsweise Kartoffel oder Weizen (s. Abb. 15), gedeiht auch auf Böden mit höherem Salzgehalt. Aufgrund ihrer Salztoleranz läßt sie sich auch in solchen Beckenbereichen noch mit Erfolg anbauen, wo die meisten anderen Feldfrüchte ausscheiden.

Die Produktion von HAFER im S. L. V. ist im Gegensatz zur Gerste heute rückläufig. Obschon in den Fünfziger Jahren vergleichsweise umfangreich (1952 : 16 600 ha), verkleinerte sich die Anbaufläche bis 1973 auf 6 350 ha (s. Tab. 8).

Gemessen am Umfang der Produktionsfläche ist ALFALFA die bei weitem bedeutendste Feldfrucht im San Luis - Becken. Schon seit der Besiedlung des Tales bildet diese Futterpflanze einen wichtigen Bestandteil des landwirtschaftlichen Anbaus, da das Heu für die Winterfütterung der Rinderherden benötigt wird (vgl. hierzu auch Kapitel 4.1.). Die Ausdehnung der Alfalfa - Anbaufläche ist besonders starken Schwankungen unterworfen (s. Abb. 13). Sie verdoppelte sich beispielsweise von 1951 (25 900 ha) bis 1958 auf 51 400 ha, schrumpfte aber dann bis 1970 wieder auf 36 400 ha. Im Jahre 1973 umfaßte sie 46 100 ha (s. Tab. 8). Weit mehr als bei anderen Feldfrüchten ist bei Alfalfa die Anbaufläche eine Funktion der Nachfrage bzw. der Marktpreise. Das bedeutet, daß etwa nach schlechten Ernten außerhalb des Tales oder einem langen, harten Winter sehr günstige Preise erzielt werden, was in der Regel eine Ausweitung des Anbaus zur Folge hat.

1) Vgl. hierzu auch Tab. 7

Neben den genannten Feldfrüchten werden im San Luis - Becken in größerem Umfang SALAT, KAROTTEN, SPINAT, KOHL, BOHNEN, ERBSEN und ZWIEBELN produziert¹. Vor allem einige zu Beginn der Vierziger Jahre von Japanern angelegte Gartenbaugroßbetriebe (im Durchschnitt 400 ha), wie zum Beispiel bei Blanca, 30 km östlich von Alamosa (vgl. Karte 14), sind auf intensiven Gemüseanbau spezialisiert.

Ein typischer Betrieb ist die 390 ha große Gemüsefarm der Mizukami Brothers bei Blanca (vgl. Karte 14), die bereits mehr als 30 Jahre besteht. Im Jahre 1974 wurden dort auf 70 % der Anbaufläche Spinat, auf jeweils 10 % Karotten, Kohl und Alfalfa angebaut. Die genannten Produkte finden in den umliegenden Bundesstaaten, der Spinat als Tiefkühlware vorwiegend in den Ballungszentren der amerikanischen Ostküste und in Kanada Absatz².

Hohe Lohnkosten sowie Arbeitskräftemangel machen vor allem für arbeitsintensive Betriebe dieser Art einen hohen Mechanisierungsgrad erforderlich. Gleichzeitig ist jedoch für bestimmte Arbeiten wie etwa das Verlesen und Sortieren der Produkte nach wie vor die saisonale Beschäftigung zahlreicher Arbeitskräfte unumgänglich.

Bodenversalzung stellt für die Mizukami - Farm aufgrund ihrer hauptsächlich sandigen Böden und der Lage des Betriebes in der östlichen ausreichend entwässerten Schwemmfächerzone kein Problem dar. Da Oberflächenwasser in diesem Talbereich nur in geringen Mengen zur Verfügung steht, verwendet man für die Bewässerung (im Furchen- und Überflutungsverfahren) vorwiegend GW.

1) Die von Gemüsekulturen eingenommene Fläche wird in der Agrarstatistik von Colorado nicht in Anbauregionen aufgliedert.

2) Mdl. Mitteilung von M. Mizukami, Blanca.

Das Wasser wird aus Tiefbrunnen gefördert und im Nachtspeicherbecken (overnight storage reservoirs) gespeichert.

Beim arbeitsintensiven Gemüseanbau besteht also - auch bei größtmöglicher Mechanisierung - vor allem während der Erntezeiten ein hoher Bedarf an Arbeitskräften, so daß in diesem Zweig der Landwirtschaft die Abhängigkeit vom Arbeitsmarkt besonders ausgeprägt ist. Probleme der Arbeitskräftebeschaffung, neben Absatzschwierigkeiten und Wassermangel, wirkten sich in der Vergangenheit negativ sowohl auf die Anbauflächenausdehnung als auch auf die Produktvielfalt aus.

Vor 1965 war die Beschaffung von Arbeitskräften kein Problem. Damals kam die Mehrzahl der in der Landwirtschaft beschäftigten Saisonarbeiter aus Mexiko und nur wenige aus amerikanischen Bundesstaaten oder dem San Luis - Becken selbst. Die billigen mexikanischen Arbeitskräfte gelangten im Rahmen des sog. 'Bracero'-Programms in die Vereinigten Staaten. Als diese Regelung 1965 aufgehoben wurde, um eigene US - amerikanische Arbeitskräfte zu mobilisieren, mußte auch das S. L. V. auf diese Landarbeiter verzichten. Da die nur saisonal anfallende, schwere körperliche Arbeit in der Landwirtschaft wenig gefragt war, blieb aber die erhoffte Mobilisierung einheimischer Arbeitskräfte aus, sodaß sich bald ein ausgeprägter Landarbeitermangel abzeichnete. Dies hatte zur Folge, daß an die Stelle der Braceros zunehmend illegale Einwanderer aus Mexiko traten, die heute nach inoffiziellen Schätzungen 30 bis 50 % aller landwirtschaftlichen Arbeitskräfte im S. L. V. ausmachen (C. O. G. 1974, S. 53).

Aufschluß über die Beschäftigung US - amerikanischer Saisonarbeiter im S. L. V. während der Sommermonate des Jahres 1970 gibt folgende Aufstellung:

15. Juni	-	450
15. Juli	-	1221
15. Aug.	-	1200
15. Sept.	-	756

Von den 1221 Saisonarbeitern im Monat Juli kamen

525	aus dem S. L. V.,
110	aus dem übrigen Colorado,
586	aus anderen US - Bundesstaaten

(Daten des C. O. G. 1974, Vol. I, S. 53, Tab. 9).

Die Saisonarbeiter - illegal eingewanderte mexikanische Arbeitskräfte ausgenommen - stellten im Juli rund 34 % aller in der Landwirtschaft Beschäftigten. Die Anzahl der permanent in der Landwirtschaft Tätigen betrug 1970 2 323 oder ca. 19 % aller Erwerbstätigen im S. L. V.¹.

Führt man sich vor Augen, daß heute 30 bis 50 % aller landwirtschaftlichen Arbeitskräfte illegale mexikanische Einwanderer sind, so wird deutlich, daß in absehbarer Zeit nicht mit einer Deckung des hohen Bedarfs an Saisonarbeitern aus US - amerikanischen Arbeitskräftereserven zu rechnen ist. Da sich aber an der angespannten Arbeitsmarktsituation durch die mexikanischen Landarbeiter nur wenig geändert hat, wird sich die vor allem bei Gartenbaubetrieben zu beobachtende Umstrukturierung weiter fortsetzen müssen.

Die auf Gartenbau spezialisierten Betriebe befinden sich vorwiegend im südöstlichen Teil des San Luis - Beckens. Innerhalb des bewässerbaren Gebietes (Karte 15) stellt dieser Bereich eines der drei Zentren dar, in welchem sich aufgrund der natürlichen Gegebenheiten wie Verfügbarkeit von Wasser, Bodenqualität und Geländebeschaffenheit der Bewässerungsfeldbau konzentriert.

1) Gesamtbevölkerung im S. L. V. 1970 : 37 467 (US Census of Population 1970). Diese Erhebungen werden in zehnjährigem Rhythmus durchgeführt.

Wichtigstes und bei weitem produktivstes Anbaugesbiet ist der Center - Sargent - Distrikt, der Teile dreier Counties (Rio Grande, Alamosa und Saguache) umfaßt (vgl. Karte 14). Vorwiegend in vergleichsweise kleinen Familienbetrieben (durchschnittliche Betriebsgröße z. B. in Rio Grande County ca. 200 ha; US Census of Agriculture 1969) wird dort ein erheblicher Teil der gesamten Kartoffel-, Braugerste- und Salaternte¹ des San Luis Beckens erzeugt (C. O. G. 1974, Vol. I, S. 48).

Ein weiteres bedeutendes Produktionsgebiet entwickelte sich westlich des R. G. - Laufes in Conejos- und Alamosa County, im sog. Waverly - Carmel - Distrikt, der sich bis über Romeo hinaus nach Süden erstreckt (vgl. Karte 14). Schwerpunkte der Erzeugung sind Kartoffeln, Getreide sowie Heugewinnung in flußnahen Bereichen. Die durchschnittliche Betriebsgröße liegt z. B. in Conejos County bei 440 ha (US Census of Agriculture 1969).

Das dritte Anbauzentrum, der 'Gemüse - Distrikt' um Blanca und Fort Garland in Costilla County (im Südostens des Tales), ist wesentlich kleiner als die beiden obengenannten. Allerdings sind die hier anzutreffenden Betriebe ebenfalls groß (in der Regel um 400 ha)

-
- 1) Das Gebiet um Center und Sargent stellt auch den Mittelpunkt des Salatanbaus im San Luis - Becken dar. Bemerkenswert ist, daß die auf Salatanbau spezialisierten Betriebe selbst lediglich das Pflanzen und Bewässern der Kulturen besorgen, während das Einbringen der Ernte sowie die Vermarktung aufgrund von Vertragsvereinbarungen in der Hand großer, marktbeherrschender kalifornischer Gemüsevertriebsgesellschaften liegen. Diese Unternehmen schicken zur Ernte eigene Lastwagen mit mexikanischen Arbeitskräften (Auskünfte des R. C. & D., Monte Vista).

Die von Salatkulturen eingenommene Fläche wird in der Agrarstatistik von Colorado nicht nach Anbauregionen aufgegliedert.



und besonders intensiv bewirtschaftet. Wichtigste Produkte sind Karotten, Spinat, Kohl, Bohnen, Erbsen und Zwiebeln (s. oben).

Der Anbau von Alfalfa ergänzt in sämtlichen Gebieten die genannte Produktionspalette. Neben den drei Hauptanbaugebieten gibt es noch einige weniger bedeutende Anbaugebiete. Abgesehen von etwas Getreideanbau im südlichen Costilla County handelt es sich hier vorwiegend um große Areale mit Heuproduktion im Bereich der feuchten Flußniederungen (vgl. Karte 14).

Die landwirtschaftlichen Betriebe im S. L. V. lassen sich nach ihrer Struktur und den jeweils vorherrschenden Bodenverhältnissen in drei charakteristische Betriebstypen gliedern:

- SPEZIALISIERTE BETRIEBE, deren Anbau sich auf wenige Produkte wie Kartoffeln und Braugerste oder einige Gemüsearten bzw. nur Salat beschränkt. Braugerste und Kartoffeln folgen in jährlichem Wechsel aufeinander. Viehhaltung und Futterbau kommen oft hinzu, sind aber von untergeordneter Bedeutung. Die Betriebsflächen sind durchweg ausreichend natürlich und / oder künstlich drainiert, sodaß Versalzungsprobleme kaum auftreten.
- GEMISCHTBETRIEBE mit Schwergewicht auf Getreideerzeugung; außerdem bilden der Anbau von Kartoffeln und Futterpflanzen sowie Viehhaltung wichtige Bestandteile dieses Betriebstyps. Eine solche Diversifizierung ist notwendig, um auch schlechter drainierte Böden in optimaler Weise nutzen zu können.
- GEMISCHTBETRIEBE mit Schwergewicht auf Viehzucht; hier hat der Feldbau lediglich ergänzende Funktion und dient der Futtergewinnung.

Diese 'Ranches' befinden sich fast ohne Ausnahme außerhalb der Zone des bewässerten Feldbaus, wie z. B. am Ostrand des Abflußlosen Beckens.

5.1.1. Wettbewerbs- und Absatzbedingungen

Da sich auf dem US - amerikanischen Binnenmarkt für landwirtschaftliche Produkte seit einigen Jahren eine zunehmende Verschärfung des Wettbewerbs abzeichnet, wird das gegenwärtige Landnutzungssystem im S. L. V. immer mehr in Frage gestellt. Der Wirtschaftsraum ist allerdings in seiner Wettbewerbsfähigkeit in mehrfacher Hinsicht benachteiligt. Während die in der Landesnatur begründeten Ungunstfaktoren sich nur begrenzt kompensieren lassen, könnten, wie zu zeigen sein wird, andere Ursachen für die Benachteiligung des Wirtschaftsraumes durchaus beseitigt werden.

Folgende Faktoren dürften, wenn nicht rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergriffen werden, die Konkurrenzfähigkeit der S. L. V. - Produkte entscheidend beeinträchtigen:

- Beckenlage bzw. Hochgebirgsschranken bedingen, daß der gesamte Warenverkehr des Untersuchungsgebietes über Hochgebirgspässe abgewickelt werden muß. Diese gelten zwar als ganzjährig befahrbar, sind aber erfahrungsgemäß nach heftigen winterlichen Schneefällen zeitweilig blockiert. Außerdem ist das S. L. V. schon grundsätzlich gegenüber den meisten übrigen US - amerikanischen Wirtschaftsräumen insofern eindeutig im Nachteil, als für den Warenverkehr dieser Region der höhere Gebirgsfrachttarif (mountain freight rate) der Public Utilities Commission gilt und das peripher gelegene Wirtschaftsgebiet somit bereits durch höhere Transportkosten pro Kilometer stärker belastet wird als entsprechende Gebiete im Tiefland (C. O. G. 1974, S. 54).

- Die große Entfernung von wichtigen Absatzgebieten (Tab. 11) bewirkt eine weitere Erhöhung des Trans-

portkostenanteils am Verkaufspreis und verringert dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte.

Denver, die nächstgelegene Agglomeration mit mehr als einer Million Einwohnern, liegt beispielsweise nicht weniger als 350 km entfernt. Die nächstgelegene Großstadt ist Pueblo; ihre Entfernung von Alamosa beträgt 201 km.

- In seinen Konsequenzen für die künftige wirtschaftliche Entwicklung noch kaum abzusehen ist das völlige Fehlen von Industrien zur Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte¹. Die Folgen dieses Mangels werden insofern besonders gravierend sein als generell in den Vereinigten Staaten eine sehr starke Tendenz besteht, landwirtschaftliche Erzeugnisse nicht mehr als Frischware, sondern als praktische, gebrauchsfertige Produkte zu vermarkten. Dieser Trend ist vor allem bei Kartoffeln und Gemüse zu beobachten, er trifft jedoch auch für zahlreiche andere Produkte zu.

Die Verarbeitung von Gemüse und Kartoffeln zu Konserven, Tiefkühlkost und anderen Nahrungsmitteln im Produktionsgebiet selbst hätte unter anderem folgende Vorteile:

- Den sich wandelnden Verbrauchergewohnheiten, die einen deutlichen Trend zum konservierten bzw. tiefgekühlten Produkt hin erkennen lassen, wird durch die Verarbeitung Rechnung getragen.
- Die besten Qualitäten jeder Ernte können weiterhin als Frischware auf den Markt gebracht werden, wodurch sich die Ver-

1) Gegenwärtig besteht hier lediglich eine Stärkemehlfabrik, die Kartoffeln minderer Qualität verarbeitet.

kaufschancen des betreffenden Produkts erheblich verbessern.

- Langfristige Liefer- und Abnahmevereinbarungen zwischen Farmer und verarbeitender Industrie würden dazu beitragen, Markt und Preise mehr als bisher zu stabilisieren.
- Verarbeitete Produkte sind aufgrund ihres höheren Wertes pro Gewichtseinheit frachtkostensparend.
- Zusätzliche Arbeitsplätze im sekundären und tertiären Sektor mit ganzjähriger Beschäftigungsdauer könnten auf diese Weise geschaffen werden.

5.2. Die Bewässerungsverfahren

Wie die Betrachtung der klimatischen Gegebenheiten zeigt, ist landwirtschaftlicher Anbau im San Luis Valley allein auf der Basis der Feldbewässerung möglich.

Die Auswahl der zu verwendenden Bewässerungsverfahren¹ erfolgt generell unter Berücksichtigung von Relief, Klima, Bodenmerkmalen, Flurabstand des Grundwassers, Möglichkeiten der Wasserbereitstellung sowie der Anbauprodukte selbst.

Grundsätzlich gilt es, den Kulturen das Wasser so zuzuführen, daß sich dabei Verluste durch Perkolation und Evaporation in möglichst engen Grenzen halten, gleichzeitig aber auch Staunässe und Bodenversalzung weitgehend verhindert werden.

Die im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Bewässerungsverfahren werden im folgenden vorgestellt. Gleichzeitig wird zu überprüfen sein, ob und inwieweit die einzelnen Verfahren den oben genannten Forderungen entsprechen bzw. welche Maßnahmen zur Verbesserung des Bewässerungswirkungsgrades zu ergreifen sind.

1) Für eine erschöpfende Behandlung der Bewässerungsverfahren sei auf Spezialliteratur verwiesen, z.B. THORNE & PETERSON 1954, SCHROEDER 1958, BROUWER 1959, ISRAELEN & HANSEN 1962, KREEB 1964, ZIMMERMAN 1966, CANTOR 1967.

5.2.1. Die Überflutungsbewässerung

Im Untersuchungsgebiet ist dieses Verfahren als Stau-berieselung unter Verwendung parallel laufender Begrenzungs-dämmen weit verbreitet. Es wird auch als begrenzte Streifenbewässerung (Kuratorium f. Kulturbauwesen 1971, S. 547) oder Landstreifenbewässerung (BAUMANN et al. 1974, S. 93) bezeichnet.

Begriffe wie 'border method', 'strip flooding method', 'border strip irrigation' etc. werden hierfür in der englischsprachigen Literatur verwendet.

Die Landstreifenbewässerung ist besonders geeignet für Feldfrüchte mit geschlossenem, flächenhaftem Bewuchs wie Getreide, Alfalfa (Luzerne) und Grünland, die in der Regel maschinell abgeerntet werden.

Voraussetzung bei diesem Verfahren ist eine Grundplanierung mit Planierraupen und sog. Scrapern; während der Bestellungsarbeiten ist auf den einzelnen Feldern außerdem eine Nachplanierung durchzuführen. Die Wirtschaftlichkeit einer Grundplanierung ist nur dann gegeben, wenn die pro Hektar erforderliche Bodenbewegung weniger als $2\ 000\ m^3$ ausmacht (BAUMANN et al. 1974, S. 93).

Nur eine einheitliche Feldoberfläche mit uniformer Neigung ermöglicht eine gleichmäßige Wasserverteilung und verhindert somit eine zwangsläufig mit Ertragsreduzierung verbundene, vergleichsweise stärkere Salzkonzentration in wenig befeuchteten Bereichen. Allerdings können bei Planierungsarbeiten auf schwach entwickelten Böden und stärker bewegtem Relief Probleme auftreten. So ist beim Kappen des Oberbodens zu berücksichtigen, daß der Permeabilitätskoeffizient des Unterbodens dem des abzutragenden Oberbodens nahekommen sollte.

Neben einer gleichmäßigen Wasserzufuhr und -verteilung ist bei der Bewässerung ebenso ein einheitliches Vor-rücken der Befeuchtungsfront im Bereich der Wurzel-zone von Bedeutung. Es ist anzustreben, daß bei ein-maliger Wassergabe die Wurzelzone die maximale Menge an Haftwasser aufnimmt, und Verluste durch Perkolation dabei dennoch gering bleiben.

Optimale Länge und Neigung der Bewässerungsparzelle und damit auch die Fließgeschwindigkeit des Bewässe-rungswassers werden bestimmt durch die Permeabilität des Bodens bzw. durch seine Wasseraufnahmerate pro Zeiteinheit. Zu starke Neigung führt auf den bewäs-serten Feldflächen zu Erosionsschäden, ein Problem, welches im Untersuchungsgebiet aufgrund der geringen Neigung des Trogbodens allerdings höchst selten auf-tritt. Zu geringe Neigung hat dagegen hohe Sickerver-luste zur Folge und kann bei hohem GW - Spiegel zur Bildung von Staunässe beitragen. Außerdem erhöhen sich die Verdunstungsverluste beträchtlich.

Die Landstreifenbewässerung erfolgt im allgemeinen auf 10 bis 30 m breiten und 60 bis 200 m langen, von kleinen Wällen begrenzten Parzellen. Auf durch-lässigen Böden (Infiltrationsrate ca. 20 bis 63 mm/h) sind je Meterbreite in der Regel 6 bis 12 l/s zuzu-führen, auf solchen mit geringer Durchlässigkeit (Infiltrationsrate ca. 1 bis 5 mm/h) 1 bis 3 l/s (BAUMANN et al. 1974, S. 93).

Auf den allgemein leichten Böden des S. L. V. fehlen die bei diesem Verfahren sonst häufig auftretenden Verschlammungserscheinungen (vgl. hierzu auch KREEB 1964); die Sickerverluste sind dagegen hoch. Erosions-schäden beim Einströmen des Wassers aus dem Zuleiter-kanal (Sekundärkanal) in die Bewässerungsparzelle werden durch die Verwendung von Saughebern (Syphons, Foto 3) weitgehend vermieden.

Eine effektive Aufbringung des Bewässerungswassers erweist sich aufgrund des geringen Wasserhaltevermögens der grob texturierten Böden des Beckens als problematisch; sie ist nur zu erreichen, wenn das Wasser möglichst kurze Zeit an der Feldoberfläche bleibt. Häufig aber bewirken unzureichende Zuleitungsmengen und geringe Parzellenlängen niedrige Bewässerungsnutzeffekte.

Folgende Versuche mit Landstreifenbewässerung wurden auf dem Gelände des C. S. U. Experiment Station bei Center (auf dem R. G. - Schwemmfächer, nördlich von Monte Vista; vgl. Karte 2) mit dem Ziel der Ermittlung optimaler Zuflußmengen und Parzellengrößen durchgeführt.

Versuch 1 Zwei Bewässerungsparzellen, jede 10 m breit und 400 m lang, erhielten zusammen eine Zuleitungsmenge von 202 l/s, d.h. 101 l/s pro Parzelle oder 10,1 l/s je Meterbreite. Das Wasser benötigte 105 Min., um das Feldende zu erreichen. Die Bewässerungsrate betrug 157 mm.

Versuch 2 Einer einzelnen Bewässerungsparzelle, ebenfalls 10 m breit und 400 m lang, wurden gleichfalls 202 l/s oder 20,2 l/s je Meterbreite zugeführt. In diesem Fall erreichte das Wasser schon nach 30 Min. das Feldende. Die Bewässerungsrate belief sich auf 90 mm (Irrigation Water Management Study 1969, S. 24).

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Verdoppelung der pro Sekunde zugeleiteten Wassermenge von 101 l auf 202 l eine erhebliche Reduzierung des für die

Bewässerung benötigten Wassers (von 157 mm auf 90 mm) zur Folge hatte, was einer Wassereinsparung von 43 % gleichkommt. Dementsprechend erhöht sich auch der Bewässerungswirkungsgrad.

Es kann also festgehalten werden, daß sich auf den sandigen Böden des S. L. V. mit ihrer hohen Permeabilität bzw. ihrem geringen Wasserhaltevermögen bei großer Zuleitungsmenge und kurzen Aufbringungszeiten optimale Nutzeffekte erreichen lassen.

Effektive Landstreifenbewässerung setzt demnach die Berücksichtigung folgender Grundsätze voraus:

- Die gesamte Anbaufläche muß exakt planiert sein.
- Die Bewässerungsparzellen sollten ca. 400 m lang und relativ schmal sein, damit bei großer Zuleitungsmenge das Wasser möglichst rasch das Feldende erreicht.
- Die pro Zeiteinheit zugeleitete Wassermenge sollte groß sein (im S. L. V. bis 20 l/s je Meterbreite), um auf diese Weise Verluste durch Perkolation und Evaporation gering zu halten.
- Der Farmer muß mehr Zeit für die Feldbewässerung aufwenden, da eine größere Zahl vergleichsweise schmaler Parzellen zu bewässern ist.

5.2.1.1. Der 'Water Buggy'

Der Water Buggy stellt eine auf das S. L. V. beschränkte, regionale Besonderheit der kontrollierten Überflutung bzw. der Landstreifenbewässerung dar. Er besteht aus einem durch Kleinmotor angetriebenen Fahrgestell und einem ca. 2,5 m breiten Wehr aus Segeltuch, wie es zu Bewässerungszwecken vielfach verwendet wird. Letzteres ist fest mit dem Fahrgestell verbunden (Foto 3a).

Für den Bewässerungsbetrieb wird die nachgezogene Segeltuch - 'Schleppe' mit Sand und Steinen beschwert, sodaß sie dem Druck des Wassers im Zuleiterkanal standhalten kann¹. Während der Buggy sich langsam - seine Geschwindigkeit ist stufenlos regulierbar - in Richtung des Gefälles bewegt und dabei das Wehr nachzieht, überflutet das aufgestaute Wasser die Feldflächen beiderseits des Kanals. Auf geraden Kanalabschnitten läßt sich der Buggy auf diese Weise mehrere Stunden lang ohne Überwachung einsetzen.

Da der Buggy sich in einem Kanal bewegt, der eine in der Regel bis 15 m breite Bewässerungsparzelle der Länge nach durchzieht, ist die vom jeweiligen Kanalabschnitt aus auf beiden Seiten zu bewässernde Fläche vergleichsweise klein. Das Bewässerungswasser erreicht den Parzellenrand sehr schnell und bleibt nur kurze Zeit an der Feldoberfläche.

1) Der hier vorgestellte Water Buggy stellt im Prinzip einen 'mobilen' Steckschütz (Kuratorium f. Kulturbauwesen 1971, S. 562) dar und ist insofern als 'Kriechschütz' oder als mobiles Bewässerungswehr zu bezeichnen.

Da Verluste durch Perkolation und Evaporation minimal bleiben, ist das Verfahren besonders für Böden mit geringer Feldkapazität geeignet. Die bei Landstreifenbewässerung ohne Buggy zwangsläufig auftretende Überbewässerung des oberen Parzellenabschnitts entfällt. Dadurch wird ein erhöhter Bewässerungswirkungsgrad, d.h. eine Verringerung der pro Flächeneinheit zuzuführenden Wassermenge erreicht.

Ist die Wasserführung im Kanal ausreichend, so lassen sich mittels eines Buggies auch Parzellen von überdurchschnittlicher Breite (bis 20 m) bewässern, exakte Planierung und geringe Neigung der Feldflächen vorausgesetzt (Irrigation Water Management Study 1969, S. 24).

Das erste mobile Bewässerungswehr wurde um 1963 im S. L. V. konstruiert und erfolgreich eingesetzt. In zahlreichen Exemplaren nachgebaut, war es bald darauf im gesamten Talbereich verbreitet. Im Jahre 1969 gab es im Untersuchungsgebiet schätzungsweise 200 Buggies, 1974 dagegen nur noch etwa 50 (Auskunft des C. S. U. Extension Service, Alamosa).

Ihre abnehmende Bedeutung ist in erster Linie auf die starke Konkurrenz von seiten der Kreisberegungsmaschinen und deren hervorragende Einsatzmöglichkeiten, besonders auf leichten Böden, zurückzuführen.

5.2.2. Die Furchenbewässerung

Dieses Bewässerungsverfahren ist bei Feldfrüchten mit linear ausgerichtetem Anbau wie Baumwolle, Mais, Hackfrüchte und zahlreiche Gemüsearten weit verbreitet (Foto 4).

Im S. L. V. wird Furchenbewässerung (furrow irrigation) vor allem bei Kartoffelkulturen und Gemüse angewendet. Die Länge der Furchen beträgt hier zwischen 100 und 200 m, ihr Abstand - beispielsweise bei Kartoffelanbau - ca. 90 cm. Die Furchen werden mit Hilfe von Spezialpflügen angelegt. Ein angestauter Zuleiterkanal (head ditch) versorgt die einzelnen Furchen mit Wasser, das in der Regel auch bei diesem Verfahren mittels Saugheber¹ über den Grabenrand gehoben wird. Der Wasserstrom ist dadurch während der gesamten Bewässerungszeit kontrollierbar, sodaß die Wasserverteilung in den einzelnen Furchen aufeinander abgestimmt bzw. vereinheitlicht werden kann. Die Zuleitungsmenge beträgt je nach Furchenlänge, -gefälle und Infiltrationsrate 0,5 bis 3 l/s. Überschüssiges Wasser wird bei etwa 90 % der furchenbewässerten Felder im S. L. V. durch einen Ableiter (waste ditch) am unteren Furchenende abgeführt. Der Furchenbewässerung kommt aufgrund des umfangreichen Kartoffelanbaus im Untersuchungsgebiet erhebliche Bedeutung zu.

1) Saugheber, die hierbei Verwendung finden, bestehen im allgemeinen aus Aluminium und haben einen Durchmesser von ca. 7 bis 10 cm (eig. Ermittlg.).

5.2.3. Die Unterflurbewässerung

Voraussetzung für dieses Verfahren sind zum einen Böden mit relativ einheitlicher grober Textur, d.h. geringem Wasserhaltevermögen und hoher Permeabilität, die dem Wasser gestatten, sich rasch vertikal und horizontal zu bewegen. Zum andern sollte das Relief wenig bewegt und die Neigung des Geländes gering sein.

Unterflurbewässerung (subirrigation) - auch Untergrundbewässerung genannt - ist nur dort sinnvoll, wo der Flurabstand des GW's nicht allzu groß ist, damit mittels Sickerwasserzufuhr eine Anhebung des GW - Spiegels erfolgen und derselbe während der gesamten Vegetationszeit möglichst in der dem jeweiligen Wachstumsstadium der Kulturen entsprechenden optimalen Höhe gehalten werden kann. Dabei muß das GW stets soweit ansteigen, daß kapillarer Anstieg in den Wurzelraum gegeben ist. Abb. 16 beinhaltet eine schematische Darstellung dieses Verfahrens.

Da sich zuviel Wasser auf das Wachstum der Pflanze ebenso nachteilig auswirkt wie zu wenig Feuchtigkeit, hätte ein zu starker Anstieg des GW's und die daraus resultierende Staunässe weitreichende Folgen für den Boden und das physiologische Verhalten der Kulturpflanzen¹. Hinzu kommt, daß sich dabei die

1) Staunässe verringert den Austausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre; die Folgen sind Sauerstoffmangel und Reduktionsprozesse im Boden sowie ein Absinken des pH - Wertes. Bei den Kulturen treten außer Sauerstoffmangel eine Behinderung der Nährstoffaufnahme sowie eine Einschränkung des Wurzelraumes auf. Der Blattanteil vergrößert sich auf Kosten des Wurzelanteils. Die Anfälligkeit für Schädlingsbefall nimmt zu (BAUMANN et al. 1974, S. 133).

Gefahr der Salzanreicherung im Oberboden bzw. an der Feldoberfläche beträchtlich erhöht. Auf die damit verbundene Problematik wird in den Kapiteln 6.1. und 6.2. näher einzugehen sein.

Zur Anhebung des GW - Spiegels wird im unterflurbewässerten Areal dem Zuleiterkanal das Wasser mittels Saugheber entnommen (Foto 5) und den Sickergräben zugeführt, welche die planierten Anbauflächen isohypsenparallel durchziehen. Der Abstand zwischen den Gräben richtet sich nach der jeweiligen Bodentextur und beträgt im S. L. V. 15 bis 25 m. Innerhalb der Sickergräben regulieren 'check dams'¹ den Wasserstand (Foto 6). Die Sickergräben werden in der Regel vor Beginn der Erntearbeiten zugeschüttet.

Verdunstungsverluste sind bei diesem Verfahren geringfügig; von Vorteil ist auch, daß die Verbreitung lästiger Unkrautsamen mit dem Bewässerungswasser weitgehend vermieden wird. Zudem ist der Arbeitsaufwand bei Unterflurbewässerung geringer als bei anderen Verfahren.

Als nachteilig erweist sich indessen der zur Anhebung und Stabilisierung des GW - Spiegels erforderliche hohe Wasserbedarf. Weiterhin ist bei wenig standfesten, sandigen Böden die von Sickergräben eingenommene Fläche beträchtlich, wodurch der Einsatz von Maschinen behindert wird.

Wie in anderen Gebieten der U. S. A., wo dieses Verfahren Verwendung findet, wurde auch im San Luis Becken die Unterflurbewässerung nicht gezielt entwickelt, sondern ergab sich erst infolge der durch

1) 'Check dams' sind in ihrer Funktion den Steuer-
schützen (Kuratorium f. Kulturbauwesen 1971,
S. 561) vergleichbar.

Oberflächenbewässerung bewirkten Auffüllung des ungespannten GW - Leiters¹. Dies ermöglichte das Praktizieren der Unterflurbewässerung in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes. Zu diesem Zweck wurden bei ausreichendem Oberflächenzufluß dem R. G. - River zunächst im Frühjahr - vor Beginn der Wachstumsperiode - große Wassermengen entnommen und nach dem Verfahren der Auffüllungsbewässerung (Kuratorium f. Kulturbauwesen 1971, S. 735) zur Anhebung des ungespannten GW - Spiegels verwendet. Auf diese Weise ließen sich durch Speicherung des Frühjahrsabflusses zumeist auch dann noch vergleichsweise gute Ernten erzielen, wenn extreme Wasserklemmen während der Sommermonate (vgl. Abb. 7) die Versorgung mit Bewässerungswasser erheblich beeinträchtigten, und auf Feldern mit Oberflächenbewässerung Dürreschäden auftraten².

Die Verringerung der Abflußspenden während der vergangenen Jahrzehnte sowie vor allem die ausgeprägten Trockenperioden der Fünfziger und Sechziger Jahre (s. Abb. 8) führten im S.L.V. zu einem erheblichen Anwachsen der Brunnenzahl und einer starken Zunahme der GW - Förderung. Die erhöhte GW - Entnahme brachte vielerorts ein Absinken des GW - Spiegels bzw. die Bildung ausgedehnter GW - Absenkungstrichter mit sich. Sämtliche im Absenkungsbereich gelegenen Felder mit Unterflurbewässerung wurden dadurch beeinträchtigt (s. Abb. 16). Seither ist dieses Ver-

1) Von 1880 bis um 1900 stieg der ungespannte GW - Spiegel in einigen Bereichen des Beckens um 20 bis 25 m (POWELL 1958, S. 56).

2) Farmbetriebe mit jüngeren Wassernutzungsrechten waren zwangsläufig am meisten betroffen.

fahren - besonders in abflußschwachen Jahren - weiterhin problematisch und in einigen Gebieten, z.B. auf einem Teil des R. G. - Schwemmfächers, nicht mehr möglich.

5.2.4. Die Feldberegnung

Hohe Anschaffungs- und Betriebskosten sowie der oft beträchtliche organisatorische Aufwand lassen die Feldberegnung (sprinkler irrigation) zunächst als wenig vorteilhaft erscheinen¹. Darüberhinaus stellt die bei Windeinwirkung ungleichmäßige Wasserverteilung ein Problem dar; eine durchweg einheitliche Befeuchtung des Bodens ist allerdings auch bei anderen Verfahren kaum zu erreichen.

Nachfolgend seien wesentliche Vorteile der Feldberegnung aufgeführt:

- Kostspielige Planierungsarbeiten entfallen.
- Das Bewässerungswasser läßt sich nahezu verlustlos aufbringen; zudem ist die Verregnung kleiner, auf Kulturen und Witterung abgestimmter Wassergaben möglich.
- Die Feldberegnung kann auch dort mit Erfolg eingesetzt werden, wo mit konventionellen Verfahren Bewässerung nicht möglich ist, z.B. in hügeligem Gelände oder auf extrem grobtexturierten Böden.

1) Zur Frage der Beregnung in Trockengebieten s.u.a.
ACHTNICH 1956, ISRAELSEN & HANSEN 1967, KREEB 1964.

- Das bei der Bewirtschaftung vielfach hinderliche Netz von Bewässerungsgräben entfällt.
- Dünger und Pflanzenschutzmittel können zusammen mit den Wassergaben verregnet werden.

Ist die potentielle Evapotranspiration einer Kultur bekannt, dann lassen sich die Wassergaben so abstimmen, daß annähernd die erforderliche Wassermenge auf das Feld gelangt. Sickerverluste in Bereiche unterhalb der Wurzelzone treten dabei nicht auf oder bleiben äußerst gering.

Unter den natürlichen Bedingungen des S. L. V. ist bei Beregnung im Mittel nur ein Drittel bis ein Viertel der bei Überflutungsbewässerung erforderlichen Wassermenge zuzuführen; dadurch erhöht sich der Bewässerungswirkungsgrad entsprechend (mündl. Mittlg. des S. L. V. I. D., Alamosa). Darüberhinaus verdoppeln sich durch Beregnung beispielsweise die Hektarerträge bei Getreide- und Alfalfakulturen gegenüber den bereits besprochenen herkömmlichen Verfahren. Auch bei Kartoffeln lassen sich auf diese Weise erheblich höhere Erträge erzielen (Ergebnis eig. Umfragen sowie Auskünfte des C. S. U. Extension Service, Alamosa).

Die Anschaffung einer Beregnungsanlage ist unter Umständen nicht teurer als exakt durchgeführte Planierungsarbeiten für eine Fläche gleichen Umfangs (SMITH 1956, zit. in KREEB 1964); Planierung ist jedoch die Voraussetzung für erfolgreiche Überflutungs- oder Furchenbewässerung und muß regelmäßig wiederholt werden, da die Feldoberfläche in bestimmten Abständen zum Salzauswaschen in Konturbecken umzustrukturieren ist.

Im S. L. V. gewinnt die Feldberegnung zunehmend an Bedeutung. Mittels einer Kreisberegnungsmaschine (center pivot sprinkler, Foto 7), dem fast ausschließlich verwendeten Regnertyp, wird in der Regel eine Viertelsektion (160 acres = 65 ha) bewässert. Da der Regnerarm uhrzeigerartig um den Brunnen kreist, bleiben dabei die Ecken der quadratischen Viertelsektion unbewässert¹. Reichweite der Düsen und verregnete Wassermenge nehmen zum äußeren Ende des Regnerarmes hin zu, da außen die pro Düse zu bewässernde Fläche wesentlich größer ist als im zentralen Bereich. Um dagegen eine Überbewässerung in Brunnennähe zu vermeiden, werden die Düsen des betreffenden Regnerabschnitts zeitweilig abgeschaltet. Den Antrieb besorgen hydraulische Pumpen.

Kreisberegnungsmaschinen sind nach ihrer Installation nicht unbedingt standortgebunden; sie können transportiert und an andere Brunnen angeschlossen werden. Im Untersuchungsgebiet wird häufig eine Beregnungsanlage zur Bewässerung mehrerer Viertelsektionen eingesetzt.

Center Pivot - Regner wurden in den U. S. A. entwickelt und kamen dort 1953 auf den Markt. Im San Luis - Becken installierte man die ersten Anlagen dieser Art zwischen 1955 und 1958; einige starre Regner älterer Bauart waren allerdings schon vorher in Gebrauch (Auskunft des R. G. W. C. D., Alamosa). Im Verlauf der ersten, Anfang 1973 durchgeführten Zählung wurden im gesamten S. L. V. 230 Kreisberegnungsmaschinen ermittelt, die zusammen 309 Viertelsektionen (20 085 ha) bewässerten. Im Januar

1) Vereinzelt werden auch diese Eckflächen bewirtschaftet und mittels Überflutung oder Furchenbewässerung gesondert versorgt (eig. Beobachtungen).

1974 zählte man 260 und im September desselben Jahres schon 300 Anlagen; die berechnete Fläche umfaßte im September 400 Viertelsektionen bzw. 26 000 ha (unveröff. Daten des R. G. W. C. D., Alamosa). Zahl der Beregnungsanlagen und Umfang der berechneten Fläche nahmen somit in ca. 1 1/2 Jahren um 30 % zu.

Auf ihre vielfältigen Vorzüge gegenüber traditionellen Verfahren - insbesondere auf den grobtexturierten Böden des Untersuchungsgebiets - ist es zurückzuführen, daß die Feldberegnung trotz der hohen Anschaffungskosten für die Anlagen (1974 : pro Regner ohne Pumpe ca. \$ 34 000; Angaben des R. G. W. C. D., Alamosa) so attraktiv ist.

Selbst in Gebieten mit hohem GW - Spiegel - dies trifft vor allem für Teile des östlichen Beckenbereichs zu - läßt sich mittels Beregnung eine gleichbleibend hohe Produktion erreichen, wenn in kurzen Intervallen kleine Wassermengen verregnet werden. Wichtig ist jedoch, daß während der Wachstumszeit keine übermäßigen Wassergaben verabreicht werden, da ein Ansteigen des GW - Spiegels in die Wurzelzone der Pflanzen auf Wachstum und Erträge negative Auswirkungen hätte. In der vegetationsfreien Zeit sind zum Auswaschen der akkumulierten Salze überdurchschnittliche Wassermengen zu verregnen. Entsprechen diese Wassergaben der Permeabilitätsrate des Bodens und bewirken sie infolgedessen für kurze Zeit einen abwärts gerichteten Wasserstrom, so läßt sich die Bodenversalzung wirkungsvoll bekämpfen. Ein zeitweiliges Ansteigen des GW - Spiegels während des Salzauswaschens ruft bei mehrjährigen Pflanzen, wie z.B. Alfalfa, in der Regel keinerlei Schäden hervor (ISRAELSEN & HANSEN 1967, S. 216).

Eine in anderen Bewässerungsgebieten durch hohen Salzgehalt des verregneten Wassers eintretende

Schädigung oberirdischer Pflanzenteile ist bei der überwiegend guten Qualität des Bewässerungswassers (vgl. Kapitel 3.5.3.) nicht zu befürchten.

Wo infolge äußerst geringen Wasserhaltevermögens der Böden mit Überflutungs- bzw. Furchenbewässerung wirtschaftlicher Anbau nicht mehr möglich ist, zeigen sich die großen Vorteile der Beregnung.

Hierzu ein Beispiel. Im Jahre 1950 wurden im Südosten des Beckens, in unmittelbarer Nähe der San Luis Hills (ca. 17 km östlich der Mündung des Conejos, in Costilla County) auf etwa 2 000 ha mit sehr leichten Böden Bewässerungsfarmen angelegt (Karte 16). Brunnen im ungespannten GW - Leiter lieferten das Irrigationswasser, bewässert wurde im Überflutungsverfahren. Das Projekt scheiterte jedoch schließlich am geringen Wasserhaltevermögen der Böden. Es hatte sich in diesem Talbereich als problematisch erwiesen, ausreichend große Feldflächen in erforderlichem Maße zu befeuchten. 1959 wurde das gesamte Areal wieder aufgegeben.

Im Jahre 1970 begann auf derselben Fläche ein neuer Versuch. Hierfür wurden 31 Kreisberegnungsmaschinen installiert und das Bewässerungswasser wiederum dem ungespannten GW - Leiter entnommen. Dieses neuere Projekt war erfolgreich. Zwar muß sich der Anbau aufgrund der Bodenverhältnisse auf Getreide und Alfalfa beschränken, doch sind - insbesondere bei Getreide - die Erträge ausgezeichnet (Auskünfte des C. S. U. Extension Service, Alamosa).

5.3. Die bewässerte Fläche - Ausdehnung und Veränderung

In Abb. 17 ist die Veränderung der Bewässerungsflächenausdehnung von 1880 bis 1969 dargestellt¹. Während der ersten drei Jahrzehnte der Besiedlung (1850 - 1880) waren keine größeren Kanalsysteme angelegt worden (vgl. Kapitel 4.1.), sodaß in diesem Zeitraum die Bewässerungsfläche nur allmählich anwachsen konnte (1880 : 61 000 ha). Wesentliche Impulse für die Ausweitung der Anbaufläche gingen vom Anschluß des Tales an das Eisenbahnnetz aus. Nach Fertigstellung der Eisenbahnlinie im Jahre 1878 setzte ein starker Zustrom US - amerikanischer Siedler ein; außerdem wurde durch diese Verkehrsverbindung die Vermarktung landwirtschaftlicher Produkte erheblich erleichtert. 1883 begann man mit dem Bau des R. G. - Kanals (vgl. Kapitel 4.2.), dem ersten von mehreren Großprojekten, und schuf damit die Voraussetzungen für einen intensiven Ausbau der Bewässerungsfläche. Die frühe Expansionsphase hielt bis 1892 an, die Anbaufläche umfaßte damals ca. 162 000 ha. Eine von 1893 bis 1904 andauernde, schwere Dürreperiode verursachte jedoch gravierende Rückschläge, so auch eine Verringerung der bewässerten Fläche um mehr als 50 % (1902 : 75 000 ha).

Da während der folgenden zweieinhalb Jahrzehnte (1905 - 1930) hohe Abflußspenden vorherrschten (vgl. Abb. 8), war die Möglichkeit für eine starke Erweiterung der Bewässerungsfläche gegeben; sie verdoppelte sich in

1) Die Daten der Jahre 1880 bis 1935 sind den Water Commissioners' Reports entnommen (R. G. Joint Investigation 1938, S. 300); diese Erhebungen wurden bis einschließlich 1935 durchgeführt. Wie spätere Nachforschungen ergaben, liegen diese Daten jedoch durchweg etwas höher als die tatsächlichen Werte.

23 Jahren (1905 - 1927) auf 314 000 ha. Die expansive Entwicklung wurde außerdem durch den Bau mehrerer Talsperren (1910 - 1914) begünstigt, welche die verfügbare Wassermenge vergrößerten. Im genannten Zeitraum entstanden, mit Ausnahme des später errichteten Platoro Reservoirs, die neun heute bedeutendsten Stauanlagen im San Luis - Becken (vgl. Kapitel 4.2.).

Die Dekade von 1930 bis 1940 war erneut von Dürre geprägt (s. Abb. 8). Zusätzliche negative Auswirkungen auf den Umfang der bewässerten Fläche ergaben sich aus dem Abschluß des R. G. - Vertrages (1939) bzw. den schon ab 1929 wirksamen, provisorischen Vereinbarungen der R. G. - Anrainerstaaten untereinander, welche die innerhalb des Tales verfügbare Wassermenge weiter reduzierten (vgl. Kapitel 8). Schließlich hatte auch die Weltwirtschaftskrise schwerwiegende Folgen für das Tal. Die genannten Faktoren führten dazu, daß sich die bewässerte Fläche von 1929 bis 1939 um über 80 000 auf 182 000 ha verkleinerte¹.

In den Vierziger Jahren konnte sich aufgrund vergleichsweise reichlicher Abflußspenden bei allgemein verbesserter Absatzsituation die Anbaufläche wieder vergrößern (1949 : 233 000 ha).

Eine ausgedehnte Dürreperiode in den Fünfziger und Sechziger Jahren führte zu einer erneuten, drastischen

1) Die Angaben für den Zeitraum von 1929 bis 1969 sind Erhebungsdaten aus dem 'Federal Census of Agriculture', der seit 1929 in fünfjährigem Rhythmus durchgeführt wird. Da der Umfang der Anbaufläche jedoch mit der Höhe des jährlichen Abflusses variiert, lassen diese Daten keine Rückschlüsse auf die Veränderung der Anbaufläche von Jahr zu Jahr zu. Zieht man jedoch die jährlichen Abflußdaten hinzu, so lassen sich begrenzte Aussagen auch über die nicht erfaßten Jahre machen.

Reduzierung der Anbaufläche; sie umfaßte beispielsweise 1954 nur ca. 148 000 ha. Infolge der bereits Anfang der Fünfziger Jahre einsetzenden, intensiven Brunnenbautätigkeit bzw. der umfangreichen Nutzung von GW für die Bewässerung (s. Abb. 12), konnten jedoch in der Folge extreme Versorgungsengpässe überbrückt und der Umfang der Anbaufläche stabilisiert werden.

Ein Teil der Bewässerungsfläche im Untersuchungsgebiet ist für Furchen- und Überflutungsbewässerung geplant. Im übrigen Anbaugesbiet setzt man andere Verfahren, Beregnung oder Unterflurbewässerung (vgl. Kapitel 5.2.3. und 5.2.4.), ein. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Entwicklung der geplanten Anbaufläche sowie den jeweiligen Anteil am gesamten Bewässerungsareal in Prozent:

1915	-	18 000 ha (9 %)
1930	-	42 500 ha (14 %)
1945	-	74 000 ha (34 %)
1960	-	81 000 ha (47 %)
1975	-	95 000 ha (-) ¹

(Unveröff. Schätzungen des C. S. U. Extension Service, Alamosa).

Es ist zu erkennen, daß trotz der seit den Fünfziger Jahren rasch wachsenden Bedeutung der Feldberegnung, die Voraussetzungen für die traditionellen Bewässerungsverfahren durch die Planierung der Anbauflächen weiter verbessert werden.

Karte 16 vermittelt einen Überblick über jene Talbereiche, in welchen geplante Anbauflächen vorherrschen; beregnete und unterflurbewässerte Areale sind jedoch stellenweise eingestreut.

1) Daten über den Umfang der gesamten Bewässerungsfläche liegen bis 1969 vor.

5.4. Zusammenfassung

Dem landwirtschaftlichen Anbau im San Luis - Becken sind durch die klimatischen Gegebenheiten enge Grenzen gesetzt. Dominierende Feldfrucht war ursprünglich der Weizen, der jahrzehntelang in Monokultur angebaut wurde, bis schließlich eine rapide Nährstoffverarmung der Böden die Einführung der Fruchtfolge unumgänglich machte.

Außerdem bewirkten die Marktverhältnisse eine allmähliche Verlagerung des Anbauschwergewichts auf Kartoffeln und Gerste, sodaß heute die Weizenproduktion von völlig untergeordneter Bedeutung ist. In den Vierziger Jahren wurde der landwirtschaftliche Anbau im S. L. V. durch Spezialkulturen, vor allem Gemüse, ergänzt.

Der Bedarf an landwirtschaftlichen Arbeitskräften mußte bald nach dem Zweiten Weltkrieg zu einem Großteil durch mexikanische Wanderarbeiter gedeckt werden. Seit 1965 unterbindet jedoch eine Verfügung der US - Regierung die Einreise von Saisonarbeitern aus Mexiko. Der dadurch hervorgerufene starke Arbeitskräftemangel wirkte sich besonders auf die arbeitsintensiven Gartenbaubetriebe aus, die zu verstärkter Mechanisierung und/oder zur Einschränkung des Anbaus gezwungen wurden.

Die durch Bewässerungswirtschaft genutzte Fläche im Untersuchungsgebiet verteilt sich im wesentlichen auf drei Zentren in Talbereichen mit besonders günstigen Voraussetzungen, den Center - Sargent - Distrikt im Nordwesten, den Waverly - Carmel - Distrikt im Südwesten und den Gemüse - Distrikt um Blanca und Fort Garland im Südosten des Tales. Die landwirtschaftlichen Betriebe des S. L. V. lassen sich einteilen in 'Spezialisierte Betriebe' und verschieden strukturierte 'Gemischtbetriebe'. Bei den Bewässerungsverfahren stehen Landstreifen- und Furchen-

bewässerung an erster Stelle, daneben sind Unterflurbewässerung und Beregnung weit verbreitet. Die Ausdehnung der Anbaufläche war früher aufgrund der Abhängigkeit der Bewässerungswirtschaft vom Oberflächenzufluß extremen Schwankungen unterworfen. Mit der wachsenden Nutzung der GW - Reserven zeichnet sich jedoch seit den Fünfziger Jahren diesbezüglich eine Stabilisierung ab.

6. Folgen der Feldbewässerung für den Naturhaushalt

Jede Landnutzung stellt einen Eingriff in den ursprünglichen Naturhaushalt dar, so auch die Feldbewässerung. Wird dabei - wie im S. L. V. - die Notwendigkeit einer kontrollierten Wassernutzung auf kulturtechnisch zu präparierenden Feldern außer acht gelassen, so treten zwangsläufig Störungen im Bodenfeuchte- und Nährstoffkreislauf auf. Ungünstiger Stauwasserspiegel und Bodenversalzung sind die Konsequenzen. Außer diesen sollen die Bodenerosion und die Gefahr der Bodensenkung erörtert werden.

6.1. Stauwassererscheinungen

Da Jahr für Jahr große Mengen von R. G. - Wasser (ca. 740 Mio. m³) zu Bewässerungszwecken in das Abflußlose Becken gelangen, man jedoch nicht gleich zu Anfang ein Kanalsystem zur Ableitung des überschüssigen, salzreichen Wassers installierte, kam es schon früh zu einem erheblichen Anstieg des GW - Spiegels. Stauwassererscheinungen, insbesondere in den östlichen, tiefer gelegenen Gebieten, waren die Folge. Bei Beginn der intensiven Bewässerungstätigkeit in diesem Raum (um 1880) betrug der Flurabstand des GW's im Osten des Abflußlosen Beckens etwa 12 und im Westen um 30 m; Anfang dieses Jahrhunderts dagegen lag der GW - Spiegel im Osten, in der Umgebung der 'Sump Area', bereits an der Feldoberfläche und im Westen, auf dem R. G. - Schwemmfächer, nur noch 3 bis 5 m unter Flur (POWELL 1958, S. 56).

Der Anstieg des GW - Spiegels im Bereich der tiefer

gelegenen Anbauflächen und die gleichzeitig um sich greifende Bodenversalzung führten um die Jahrhundertwende zur Aufgabe umfangreicher Feldflächen. Die Landverluste im Osten konnten indessen durch stetige Neulandgewinnung im Westen kompensiert werden. Die Ostgrenze des bewässerten Areals rückte pro Jahr zwischen 800 und 1 500 m nach Westen vor, sodaß bis 1915 auf einem breiten Streifen, der sich halbkreisförmig an den etwas gefällsreicheren mittleren Abschnitt des R. G. - Schwemmfächers nach Osten hin anschließt, die Farmen verlassen waren. Zuvor ertragreiche Agrargebiete - wie das Zentrum des Weizenanbaus um Mosca und Hooper - fielen der Versteppung anheim (R. G. Joint Investigation 1938, S. 67). Bei der Durchführung verschiedener Projekte zur Rückgewinnung stauwassergeschädigter Anbauflächen sollten zwischen 1911 und 1921 mehrere Entwässerungssysteme entstehen. Die aufgrund der Dränagemaßnahmen erzielten Verbesserungen gingen jedoch auf Kosten der tiefgelegenen, abflußlosen Areale, wo das zuströmende Dränwasser eine Verschärfung der Stauwasserprobleme bewirkte.

Wie die in Kapitel 3.5.1. angeführten Meßergebnisse der Wasserverluste in nicht isolierten Kanälen erkennen lassen, erhöht außerdem in gefährdeten Zonen die starke Versickerung aus diesen Bewässerungskanälen die Stauwassergefahr. Eine weitere Ursache für das Auftreten von Stauwasser in verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebietes - auch in der südlichen Talhälfte - war früher in höherem Maße als heute die Unterflurbewässerung, wobei unter Verwendung beträchtlicher Mengen von Oberflächenwasser der Stauwasserspiegel bis in die Wurzelzone angehoben wird (vgl. Kapitel 5.2.3.). Schließlich trägt eine bedeutende Anzahl kleinerer artesischer Brunnen, die auch außerhalb der Vegetationsperiode fließen, nicht unerheblich zur Bildung von Stauwasser bei. Auf diese Weise werden jährlich etwa 185 Mio. m³ Wasser gefördert, die weder zur Produktion von Pflanzmasse noch zu anderen Zwecken nutzbringend verwendet werden (EMERY et al. 1971, Sheet 2).

6.2. Bodenversalzung

Minimale Niederschläge und hohes Feuchtedefizit der Luft sind charakteristisch für das Wüstensteppenklima des San Luis - Beckens, dessen Aridität durch edaphische Trockenheit noch verschärft wird. Der vorwiegend aufsteigende Bodenwasserstrom bewirkt eine hohe Konzentration der Bodenlösungen und hat beträchtliche Salzakkumulationen im Oberboden zur Folge. Neutralsalz- und Salzalkaliböden¹ sind daher weit verbreitet.

Von Bodenversalzung besonders betroffen ist das Abflußlose Becken im Norden, dem jährlich für Bewässerungszwecke im Durchschnitt 740 Mio. m³ R. G. - Wasser zugeführt werden (Water Problems in Colorado 1964, S. 10). Da man es jedoch bisher unterlassen hat, ein großräumiges, umfassendes Entwässerungssystem mit dem R. G. - River als Vorfluter zu installieren², verbleiben die beträchtlichen Mengen importierter, gelöster Stoffe im genannten Beckenbereich.

Abb. 9 vermittelt einen Eindruck von der dem Abflußlosen Becken zugeführten Menge gelöster Stoffe. Verfolgt man etwa die für den 10. 9. 68 eingetragene Kurve, so stellt man fest, daß sich auf dem R. G. - Stromabschnitt zwischen Del Norte und Monte Vista, entsprechend der Entnahme für Bewässerungszwecke, die Menge mitgeführter, gelöster Stoffe von ca. 90 t auf annähernd 15 t/Tag verringert. Das bedeutet, daß in diesem Fall ca. 75 t/Tag an gelösten Stoffen mit dem

1) Zur Einführung in den Themenkreis Böden und Bodenversalzung in Trockengebieten s. u. a. GANSSSEN 1969 und KREEB 1964.

2) Projekte zur Entwässerung des Abflußlosen Beckens und die mit ihrer Realisierung verbundenen Probleme werden in Kapitel 8 im Zusammenhang mit dem R. G. - Vertrag zu besprechen sein.

Bewässerungswasser auf die Felder gelangen. Berücksichtigt man weiterhin, daß die dem Abflußlosen Becken Bewässerungswasser zuleitenden Kanäle den mit Abstand größten Anteil an der Gesamtentnahme aus dem R. G. - River haben, so wird das Ausmaß der sich hier vollziehenden Salzakkumulation vollends deutlich¹. Salzimport in diesem Umfang ohne nennenswerten Export hat zwangsläufig eine rapide Ausbreitung der Bodenversalzung, vor allem im tiefer gelegenen, östlichen Talbereich und, daraus resultierend, die stetige Zunahme nicht mehr kultivierbarer Flächen zur Folge.

Das Gebiet von Alamosa County, welches einen Großteil der östlichen Talhälfte nördlich und südlich des R. G. - River bzw. der GW - Scheide umfaßt (s. Karte 8), ist durch Bodenversalzung stark gefährdet. Aufgrund seiner tieferen Lage (vgl. hierzu auch Karte 2) besitzt dieser Distrikt die Funktion eines natürlichen Dränagesammelbeckens. Die zufließenden GW - Ströme bedingen vielerorts einen hohen Stauwasserspiegel; demnach sind dort die aktuellen Evapotranspirationsraten vergleichsweise am höchsten und die Salzkonzentrationen im Boden und GW entsprechend hoch.

In den Jahren 1971 und 1972 wurde von der Colorado State University, Fort Collins, im S. L. V. eine Reihe von Bodenuntersuchungen durchgeführt. Zum Vergleich mit den Böden von Alamosa County seien jene von Rio Grande County (westliche Talhälfte, gleichfalls nördlich und südlich des R. G. - River; vgl. Karte 8) herangezogen.

1) Untersuchungen über den Umfang des jährlichen Salzimports in das Abflußlose Becken wurden bisher nicht angestellt.

Für Alamosa County ergab die Analyse des Sättigungsextraktes von 69 Proben einen durchschnittlichen Leitfähigkeitswert von 9,40 mmhos/cm. Für Rio Grande County dagegen wurde aus 289 Proben eine mittlere Leitfähigkeit von nur 2,97 mmhos/cm ermittelt (unveröff. Daten des C. S. U. Soil Testing Laboratory, Fort Collins 1972.) Der für den Bezirk Alamosa angegebene Wert spiegelt den hohen Versalzungsgrad der Böden in diesem Talbereich wider.

Aufgrund ihrer vergleichsweise höheren Lage und besseren natürlichen Entwässerung weisen die Böden von Rio Grande County einen relativ niedrigen Salzgehalt auf. Leitfähigkeitswerte über 4 mmhos/cm, dem Schwellenwert für Salzböden¹, traten lediglich bei 9 % der Proben auf (vgl. hierzu Tab. 12). Tieferer Lage, fast durchweg ungenügende natürliche Entwässerung ('Dränagesammelbecken des S. L. V.') und verbreitet schwere Böden mit hohem Salzgehalt sind charakteristisch für Alamosa County. Hier wurden bei 50 % der gesammelten Proben Leitfähigkeitswerte über 4 mmhos festgestellt. An diesen Ergebnissen läßt sich, insbesondere für den mittleren Abschnitt des San Luis - Beckens, eine Zunahme der Chlorid - Sulfatverbrackung von West nach Ost ablesen.

Im Verlauf der Untersuchung wurde außerdem die Bodenreaktion ermittelt; diese wird zur Charakterisierung eines Bodens mit herangezogen. Steigt der pH - Wert über 8,5 an, so ist gewöhnlich umtauschbares Natrium vorhanden. In beiden Bereichen zeigte sich - wie in Trockengebieten zu erwarten - eine neutrale bis alkalische Reaktion. Für Rio Grande County ergab sich ein durchschnittlicher

1) Zur Klassifizierung von Salzböden s. u. a. U. S. D. A. 1954, KREBB 1964 und GANSSEN 1969.

pH - Wert von 7,73; lediglich bei 8 % der Proben lagen die Werte über 8. Für Alamosa County war der Mittelwert mit 7,98 zwar ein wenig höher, blieb aber im schwach alkalischen Bereich (unveröff. Daten des C. S. U. Soil Testing Laboratory, Fort Collins 1972). Dabei ist allerdings zu beachten, daß in diesem Gebiet 46 %, also knapp die Hälfte aller Bodenproben, pH - Werte über 8 aufwiesen. Daraus ist zu entnehmen, daß in Alamosa County neben Chlorid - Sulfatverbrackung stellenweise auch Sodaverbrackung¹ vorliegt.

Ohne aufwendige wasserbauliche und meliorationstechnische Maßnahmen kommt ein Großteil der betroffenen Gebiete auch in Zukunft für eine landwirtschaftliche Nutzung nicht mehr in Betracht. Zur Eindämmung der Bodenversalzung sind vor allem die Entwässerung des Abflußlosen Beckens und die Ausweitung des Dränagekanalnetzes auf die gesamte kultivierte Fläche unumgänglich. Hierauf wird in Kapitel 7.3. näher einzugehen sein.

1) Der Gehalt an umtauschbarem Natrium, welcher bei der Bestimmung der Alkalität eines Bodens als weiteres Kriterium dient, wurde im Verlauf der genannten Untersuchung des Soil Testing Laboratory nicht bestimmt.

6.3. Bodenerosion

Im Frühjahr und Frühsommer, aber auch während der Herbstmonate, treten im San Luis - Becken Winde mit hohen Geschwindigkeiten auf (vgl. Kapitel 3.2.5.). Monatsmittel von 22 km/h und Spitzenwerte von über 70 km/h (vgl. Abb. 5) sind die Regel (U. S. Dept. of Commerce, Ntl. Climatic Service, Wind Data for Alamosa 1950-54). Da in den Frühjahrs- und Frühsommermonaten die meisten Felder noch ohne ausreichend entwickelte, schützende Pflanzendecke sind, kommt es in dieser Zeit häufig zu schweren Staub- und Sandstürmen bzw. zu massiver Ausblasung von Feinerde (Foto 8).

Auch im Herbst (September und Oktober), nach Abernten der Anbauflächen, ist beträchtlicher Bodenabtrag zu beobachten, allerdings von geringerer Intensität als in der ersten Jahreshälfte.

Es ist bezeichnend, daß in der Regel zur Bekämpfung der schleichenden Bodenerosion keinerlei Maßnahmen wie beispielsweise durch Mulchen und/oder Anlegen von Windschutzstreifen (Baumreihen bzw. Hecken) ergriffen werden. Nur vereinzelt, so etwa bei San Luis im Südosten des Tales (vgl. Karte 12), befinden sich auf einigen Betriebsflächen Schutzstreifen aus 'Chinese elms', einer Ulmenart, und 'Russian olives'¹, die dem Bodenabtrag entgegenwirken (Auskünfte des C. S. U. Extension Service, Alamosa).

Wenn auch spezielle Untersuchungen zur Intensität der

1) Nach einer Studie des S. C. S. aus dem Jahre 1969 müßten im S. L. V. Windschutzstreifen in einer Gesamtlänge von mindestens 100 km gepflanzt werden. Als Anreiz für die Farmer wären jedoch staatliche Zuschüsse erforderlich (Irrigation Water Management Study 1969, S. 23).

Bodenerosion in diesem Landesteil fehlen und deshalb bisher unmittelbare Auswirkungen auf die Erträge noch nicht festgestellt werden konnten, muß doch bei Unterbleiben geeigneter, bodenerhaltender und bodenpflegender Maßnahmen langfristig mit gravierenden Folgen für den landwirtschaftlichen Anbau gerechnet werden.

6.4. Zur Gefahr der Bodensenkung

Im San Luis - Becken wurde bisher noch keine Bodensenkung festgestellt. Man befürchtet aber, daß im Falle einer Verringerung der Zufuhr zum gespannten GW - Leiter oder aber einer verstärkten Nutzung eine Druckabsenkung eintritt, welche das irreversible Zusammensacken der artesischen GW führenden Sedimente nach sich ziehen würde (EMERY et al. 1973, S. 2).

In einem ausgedehnten Einbruchsbecken Californiens, dem Santa Clara Valley, südöstlich von San Francisco, hat unter vergleichbaren Bedingungen die Bodensenkung schon beträchtliche Ausmaße erreicht. Dort werden seit 1933 Messungen der Bodensenkungsbeträge durchgeführt und deren Beziehung zur GW - Entnahme festgestellt.

Die dort gewonnenen Daten und Erkenntnisse deuten daraufhin, daß die Bodensenkung im Santa Clara Valley in der Hauptsache auf die Abnahme des artesischen Druckes zurückzuführen ist. Das Ausmaß des Absinkens steht in direktem Zusammenhang mit dem Umfang der Druckverringerung innerhalb des artesischen GW - Leiters. Demnach kam in einer Periode mit zunehmendem artesischen Druck (1937 - 1940) die Bodensenkung praktisch zum Stillstand; sie trat jedoch wieder verstärkt auf, als von 1944 bis 1950 der artesischen Druck sich stark verringerte.

Im genannten Bewässerungsgebiet wurden auf einem ca. 595 km² umfassenden, von Bodensenkung betroffenen Areal Senkungsbeträge festgestellt, deren Extremwerte nur knapp unter drei Meter lagen (POLAND & GREEN 1962, S. 1 und S. 15).

Obwohl der artesischen GW - Leiter im Untersuchungsgebiet bisher noch keine Anzeichen umfassenden Druck-

abfalls erkennen läßt, werden in Zukunft mögliche negative Auswirkungen einer weiteren Erhöhung der Entnahme und vor allem einer Beeinträchtigung der Zufuhr durch Abdichtung von Kanalabschnitten und Flußbetten in der randlichen Schwemmfächerzone dahingehend zu beobachten sein.

6.5. Zusammenfassung

Seit den Achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts werden dem R. G. - River Jahr für Jahr erhebliche Wassermengen entnommen und zur Bewässerung vor allem in die abflußlose Nordhälfte sowie in den Südwestteil des San Luis - Beckens geleitet. Da keinerlei Vorkehrungen zur Ableitung des überschüssigen, mit gelösten Salzen angereicherten Wassers getroffen worden waren, traten bereits um die Jahrhundertwende, besonders im Ostteil des Abflußlosen Beckens, auf weiten Gebieten Schäden durch Stauwasser und Bodenversalzung auf, eine Entwicklung, welche durch die weithin praktizierte Unterflurbewässerung in hohem Maße begünstigt wurde. Die Landverluste im Osten kompensierte man zunächst durch Neukultivierung im Westen, sah sich aber schließlich gezwungen, schwerpunktmäßig Entwässerungssysteme zu installieren. Auf diese Weise konnte in Teilbereichen der Stauwasserspiegel gesenkt und eine günstige Salzbilanz geschaffen werden. Da jedoch dabei für die Gebietsentwässerung der Beckennordhälfte in den R. G. - River nicht gesorgt wurde, führte dort die Dränung der höher gelegenen Anbauflächen zwangsweise zur Verschärfung des Stauwasserproblems in den tiefer gelegenen Bereichen. - Ein Mißstand, dessen Begleiterscheinungen nicht in gleicher Weise zutagegetreten und der infolgedessen bisher nur geringe Beachtung fand, stellt die Bodenerosion dar. Da in den Frühjahrs- und Herbstmonaten, wenn die Felder ohne schützende Pflanzendecke sind, häufig hohe Windgeschwindigkeiten auftreten, verursachen in dieser Zeit Staub- und Sandstürme erheblichen Bodenabtrag. Um einer Ausweitung der Schäden vorzubeugen, gilt es, die Anbauflächen mehr als bisher durch das Pflanzen von Windschutzstreifen sowie durch entsprechende bodenpflegende und -erhaltende Maßnahmen wie z. B. Mulchen zu schützen.

Als folgenschwer für das gesamte Bewässerungsgebiet könnte

sich unter Umständen auch eine verstärkte Förderung artesischen GW's erweisen. Dies wird am Beispiel des Santa Clara Valley in Californien deutlich, wo unter ähnlichen geohydrologischen Bedingungen wie im Untersuchungsgebiet hohe Entnahmeraten eine starke Abnahme des artesischen Drucks nach sich zogen. Diese Entwicklung führte dort schließlich zu starker Bodensenkung, verbunden mit erheblicher Beeinträchtigung des Bewässerungslandes und der Siedlungsgebiete. Die aufgetretene Bodensenkung ist irreversibel.

7. Maßnahmen zur Stabilisierung des Naturhaushaltes

Der Grundforderung, daß die durch Bewässerung veränderten Stoffkreisläufe im Boden in erster Linie mittels Entwässerung wieder zu stabilisieren sind, wurde im S. L. V. bisher nicht oder nur minimal entsprochen. In Kapitel 6 wurden die daraus resultierenden Folgen erörtert.

Im Zuge einer auf Anbauflächenerhaltung ausgerichteten Landnutzung sollte man im Untersuchungsgebiet möglichst bald damit beginnen, die krankhaften Strukturelemente der Bewässerungswirtschaft zu beseitigen. Dazu gehören neben der Ermittlung bedarfsorientierter Wasserquoten der Ausgleich des Bodensalz- und Bodenfeuchtehaushaltes.

7.1. Das Drainagekanalsystem

Bereits die Betrachtung der Oberflächenformen im Untersuchungsgebiet, der Sedimentationsdynamik und der Verteilung der Bodenarten vom Gebirgsrand bis hin zum Zentrum des Beckens gestattet erste Rückschlüsse auf die natürlichen Drainageverhältnisse und deren räumliche Differenziertheit: Die peripheren Bereiche entwässern auf Kosten der weiter hangabwärts und in den tiefsten

Talbodenbereichen gelegenen Gebiete (vgl. Karte 2). Infolgedessen war um 1915 ein Großteil der Anbauflächen im S. L. V. aufgrund von Stauwassererscheinungen nicht mehr kulturfähig und andere unmittelbar bedroht. Besonders betroffen war das Weizenanbaugebiet um Mosca und Hooper im Abflußlosen Becken, wo sich die bedeutendsten Kulturflächen nördlich des R. G. - Laufes befanden.

Vier Jahre zuvor, 1911, hatte man schwerpunktmäßig mit dem Bau nicht isolierter Drainagekanalsysteme begonnen und mit deren Fertigstellung im Jahre 1921 die Grundlagen für die Entwässerung von ca. 36 400 ha Ackerland geschaffen (R. G. Joint Investigation 1938, S. 67). Von den acht errichteten Drainagekanalsystemen befinden sich das Rio Grande-, das Sylvestre- und das Gibson-Kanalsystem im Abflußlosen Becken, d. h. im Nordteil des Tales, während das Parma-, Carmel-, McLean-, Monte Vista Town- und das Norton-Kanalsystem im vom R. G. - River entwässerten Südwesten des S. L. V. liegen (Karte 17).

Zwischen 1921 und 1936 wurde das Netz der nicht isolierten Entwässerungskanäle um weitere sieben Systeme und die dränierte Fläche damit um ca. 26 300 ha auf 62 700 ha erweitert. Im Abflußlosen Becken entstanden im genannten Zeitraum das System des San Luis Valley Irrigation District und in der südwestlichen Talhälfte die Anlagen des Waverly-, Bowen-, Adams Lane-, Manassa Town- sowie des San Luis Drainage District (s. Karte 17).

Die gesamte, von den aufgeführten Kanälen entwässerte Fläche entsprach mit ihren knapp 63 000 ha jedoch lediglich einem Viertel der damaligen Bewässerungsfläche von rund 250 000 ha (vgl. Abb. 17); sie war also völlig unzureichend.

Wirksame Feldentwässerung setzt aber nicht nur ein Drä-

nagekanalsystem voraus, sondern außerdem, wo die Bodentextur es erfordert, die Installierung umfassender unterirdischer Entwässerungsstränge im bewässerten Areal, eine Forderung, welcher in diesem Fall nur ungenügend entsprochen worden war¹.

Die GW - Scheide, welche die Grenzlinie bildet zwischen dem Abflußlosen Becken und dem vom R. G. - River entwässerten Gebiet (vgl. hierzu Kapitel 3.5.), wird allein vom R. G. - Entwässerungskanal gequert. Aufgabe dieses Kanals ist demnach die Salzausfuhr aus dem abflußlosen Nordosten in den R. G. - River. Nach Angaben des R. G. W. C. D. in Alamosa bleibt seine Dränleistung jedoch weit hinter den Erwartungen zurück². Bei unvermindert hoher Zufuhr bleibt also der Export von gelösten Stoffen aus dem Abflußlosen Becken weiterhin minimal. Dies schlägt sich in zunehmender Versalzung des Oberbodens und des ungespannten GW's im betreffenden Talbereich nieder.

Seit 1936 hat sich der Umfang des Dränagekanalnetzes kaum verändert³. Obschon die Bewässerungsfläche sich um 65 000 auf 185 000 ha (1969) verringerte, wandelte sich dadurch das ungünstige Verhältnis zwischen be-

-
- 1) In die Dränagekanäle münden in der Regel einige Kastendränstränge, die in Zahl und Nutzeffekt aber meistens unzulänglich sind. Detaillierte Angaben hierüber sind nicht erhältlich.
Beim Kastendrän (box drain) sind die Seitenwände senkrecht, Scheitel und Sohle waagerecht; im Untersuchungsgebiet bestehen diese Dränanlagen durchweg aus Holz (zumeist Zeder).
 - 2) Messungen der Salzexportraten bzw. der Dränleistung dieses Entwässerungssystems wurden bisher noch nicht vorgenommen.
 - 3) Vgl. hierzu Tabelle 13.

und entwässerter Fläche nur unbedeutend. Erweiterungsarbeiten fanden lediglich am Bowen Drain im Südwesten (vgl. Karte 17) statt; er wurde 1969/70 um 18 km verlängert (Auskunft des R. G. W. C. D., Alamosa).

Aufgrund der genannten kulturtechnischen Maßnahmen verbesserte sich zwar die Bodenfeuchte- und Salzbilanz in den meisten unmittelbar von Entwässerungsanlagen profitierenden Gebieten; der Stauwasserspiegel ist hier weitgehend unter Kontrolle und der Salzimport wird durch Salzexport ausgeglichen. Zum Teil ist jedoch die Dränleistung der Systeme deshalb minimal, weil die für die Aufnahme des Entwässerungswassers bestimmten Sammelkanäle während der Vegetationszeit vielfach auch als Bewässerungskanäle - zum Praktizieren der Unterflurbewässerung - verwendet werden, und zu diesem Zweck das anfallende Dränagewasser durch Wehre in ihnen aufgestaut wird¹. Selbst am Ende der Wachstumsperiode setzen die Farmer nicht alle Kanäle ihrer eigentlichen Bestimmung entsprechend zur Gebietsentwässerung ein; in der Regel sehen sich die Mitarbeiter des R. G. W. C. D. deshalb gezwungen, die Wehre im Spätherbst zu öffnen, um einen Mindestdränageeffekt zu gewährleisten.

Betrachtet man das S. L. V. als Einheit, so wird deutlich, daß Ausmaß und Nutzeffekt der vorhandenen Feldentwässerungssysteme bisher in keiner Weise den zur

1) Eigene Beobachtungen am Bowen Drain (ca. 18 km südwestlich von Alamosa) ergaben, daß beispielsweise der im Wirkungsbereich des Kanals befindliche Teil einer bestimmten Betriebsfläche entwässert werden sollte, während auf der unterhalb angrenzenden Besitzeinheit derselbe Dränagekanal an einer der zahlreichen engen Brückendurchlässe mit einem improvisierten Wehr geschlossen und zur Anhebung des GW - Spiegels hoch aufgestaut war. Dadurch wurde zwangsläufig die Entwässerung der kanalaufwärts gelegenen Feldflächen stark beeinträchtigt bzw. unmöglich gemacht.

Beseitigung der krankhaften Strukturelemente zu stellenden Anforderungen entsprechen (s. hierzu auch Karte 11). Die Voraussetzungen für effektive Dränage sollten möglichst bald durch den planvollen Aufbau eines Systems von teilweise isolierten Sammelkanälen im gesamten agrarisch genutzten Bereich sowie, wo erforderlich, durch die zusätzliche Installierung von Unterflurrohrnetzen geschaffen werden.

Derartige Untergrundrohr- bzw. Kastendränstränge fehlen jedoch vielfach noch, d. h. die Länge der Anlagen und/oder ihre Dichte ist ungenügend, sodaß die existierenden, nicht isolierten Sammelkanäle vorwiegend Bodenwasser aus den benachbarten Feldstreifen aufnehmen.

Es wäre sinnvoll, wenn künftig die Zweckentfremdung der Sammelkanäle, wie z. B. beim Aufstau zur Unterflurbewässerung unterbliebe, da hierdurch ein Ausgleich des Bodensalz- und Bodenfeuchtehaushaltes verhindert wird. Zur Sicherung der Anbauflächen im mittleren und östlichen Abflußlosen Becken ist darüberhinaus der Bau des seit etlichen Jahren projektierten Closed Basin Drain (hierauf wird im Zusammenhang mit dem R. G. - Vertrag in Kapitel 8 einzugehen sein) mit dem R. G. - River als Vorfluter und daraufhin die Schaffung eines distriktweit ausgeglichenen Salzhaushaltes anzustreben.

7.2. Bedarfsorientierter Wasserverbrauch

Bis vor wenigen Jahrzehnten war die Bewässerungswirtschaft im S. L. V. fast vollständig von der Entnahme von Oberflächenwasser abhängig (s. Abb. 12). Eine gleichmäßige Versorgung während der Bewässerungsperiode war aber nicht gewährleistet, da die Abflußspenden des R. G. - River und der ihm zufließenden Gewässer extremen Schwankungen unterliegen (vgl. Abb. 7+8), und das Tal trotzdem nicht mit dem für die Bewässerungswirtschaft erforderlichen Stauvolumen ausgestattet ist (Karte 12). Bei reichlichem Abfluß wurde daher ursprünglich während der Monate April und Mai vor Beginn der Bewässerungsperiode fast im gesamten nördlichen S. L. V. das Flußwasser nach dem Verfahren der Auffüllungsbewässerung zur Anhebung des GW - Spiegels verwendet. Das im Boden gespeicherte, durch Unterflurbewässerung (vgl. Kapitel 5.2.3.) ergänzte Wasser stand den Pflanzen somit zur Verfügung und ermöglichte in der Regel auch die Überwindung der sommerlichen Wasserknappheit im Juli und August.

Nicht immer jedoch war mit Hilfe der Wasserspeicherung im Untergrund die Überbrückung der besonders trockenen Sommermonate gesichert. Während langer Dürreperioden wie beispielsweise von 1950 bis 1956 (vgl. Abb. 8) war Feldbau auf dieser Grundlage nicht mehr möglich, da der GW - Spiegel zu tief abgesunken war und Wasser zu seiner Anhebung fehlte. Entsprechend verringerte sich in diesen Jahren auch der Umfang der Anbaufläche (s. Abb. 17).

Verschiedene behördliche Maßnahmen hatten darüberhinaus eine erhebliche Verknappung des für Bewässerungszwecke zur Verfügung stehenden Wassers zur Folge:

- Seit einigen Jahren werden die gegenüber Neumexiko eingegangenen Verpflichtungen zur Lieferung von R. G. - Wasser von den Behörden Colorados strikt eingehalten. Frühere Versäumnisse auf diesem Sektor hatten zu hohen Lieferdefiziten und schließlich zu einem Prozeß vor dem Bundesgericht geführt.
- Vor wenigen Jahren wurde vom Colorado Water Engineer über das gesamte S. L. V. mit Ausnahme des Abflußlosen Beckens ein Bauverbot für Bewässerungsbrunnen verhängt, da deren Gesamtzahl während der Dürreperioden der Fünfziger und Sechziger Jahre außerordentlich stark angestiegen war (vgl. Abb. 12). Nachweislich führt das angewachsene Pumpvolumen wiederum dazu, daß sich der R. G. - Abfluß infolge von Versickerung während der Spitzenentnahmezeiten durch Bewässerungsbrunnen erheblich verringert. Dies zeigt, daß Fluß und GW hydraulisch miteinander in Verbindung stehen.
- Angesichts der hydraulischen Verhältnisse ordneten die zuständigen Behörden darüberhinaus im Jahre 1973 die seit langem erwogene Beschränkung der Nutzung von Bewässerungsbrunnen auf vier Wochentage an. Wie den beiden vorangegangenen, so liegt auch dieser Maßnahme das Bestreben Colorados zugrunde, die R. G. - Vertragsverpflichtungen konsequent einzuhalten.

Den obigen Ausführungen ist zu entnehmen, daß sich in Zukunft der Verbrauch von Bewässerungswasser zwangsläufig mehr als bisher am tatsächlichen Bedarf der

Anbaufrüchte zu orientieren haben wird. Bei einer Verbesserung des Wassernutzungsgrades, wie sie beispielsweise in anderen Bewässerungsgebieten des amerikanischen Westens erreicht wurde, stünden für die Feldbewässerung zusätzliche Wassermengen zur Verfügung.

Die intensive Erarbeitung von Formeln - z. T. auf empirischer Grundlage - zur Berechnung des Wasserbedarfs von Kulturpflanzen hatte in den Dreißiger Jahren begonnen. Zahlreiche Methoden wurden seither vorgeschlagen (vgl. PENMAN 1948, THORNTHWAITE 1948, TURC 1953, KRAMER 1959, MILTHORPE 1960 u. a.).

BLANEY & CRIDDLE (1950 und 1962) entwickelten im Westen der USA empirisch eine Formel zur Ermittlung des Pflanzenwasserbedarfs. Sie wurde unter besonderer Berücksichtigung der Bedingungen arider Räume erarbeitet und fand weltweite Anwendung. Im Untersuchungsgebiet herrscht, wie aus dem Klimagramm der Abb. 2 zu entnehmen, während des überwiegenden Teils der Wachstumsperiode ausgeprägte Dürre; hier kann somit die BLANEY & CRIDDLE - Formel Verwendung finden¹. Dieses Berechnungsverfahren erweist sich auch insofern als vorteilhaft, als dadurch eine gewisse Möglichkeit besteht, die vorliegende Studie mit den Ergebnissen verschiedener Bewässerungsgebiete in anderen Teilen der Welt zu vergleichen. Von der Erörterung anderer Berechnungsverfahren sei im Rahmen dieser Untersuchung abgesehen.

Zahlreiche Faktoren bestimmen die Menge des von der Pflanze für das Wachstum benötigten Wassers. Wesentlich sind Klima, verfügbares Wasser, Boden und Relief.

1) Die PENMAN - Formel beispielsweise ist mangels der erforderlichen, grundlegenden Daten für die Berechnung des Pflanzenwasserbedarfs im S. L. V. nicht verwendbar.

Größte Bedeutung kommt jedoch den Klimafaktoren zu. Temperatur, Niederschläge, Luftfeuchte, Luftbewegung und die Wachstumsperiode sind ausschlaggebend. Ausserdem haben Bewässerungsverfahren, Art der Anbaupflanze sowie deren Wachstumsstadium Auswirkungen auf die Evapotranspiration.

Die BLANEY & CRIDDLE - Formel

$$E = K \times F = \sum k \times f$$

(BLANEY & CRIDDLE 1950) beruht auf diesen Erkenntnissen. Sie setzt Temperatur, Wachstumsperiode, den monatlichen Tagesstundenanteil in Prozent der Tagesstundenjahressumme und die potentielle Evapotranspiration in Beziehung zueinander. Sind mittlere Monatstemperatur und geographische Breite bekannt, so läßt sich anhand dieser Formel die potentielle Evapotranspiration für jedes Bewässerungsgebiet berechnen.

E entspricht der zu berechnenden Evapotranspiration in inches für einen bestimmten Zeitraum, K einem empirisch ermittelten, pflanzenabhängigen Koeffizienten;

$$f = \frac{t \times p}{100} ,$$

wobei für t die mittlere Monatstemperatur und für p der monatliche Tagesstundenanteil einzusetzen sind. Die Evapotranspiration einer Wachstumsperiode setzt sich zusammen aus der Summe der mit Hilfe der Gleichung

$$e = k \times f$$

für die einzelnen Monate ermittelten Werte.

Die Tabellen 14 und 15 umfassen die aus Klimadaten berechneten einzelnen Monatsklimafaktoren. BLANEY & CRIDDLE setzen voraus, daß für die meisten Bewässerungsgebiete der Wachstumskoeffizient (K) eines bestimmten Anbauproduktes annähernd konstant ist.

K wurde empirisch ermittelt; sein Wert beträgt je nach Anbauprodukt zwischen 0,45 und 1,10. BLANEY & CRIDDLE räumen ein, daß K für kurze Zeiträume während der Wachstumsperiode wechselnde, meist höhere Werte aufweist, die in der Hauptsache auf extreme Temperaturen sowie die jeder Pflanze eigene Wasserverbrauchskurve zurückzuführen seien.

Verschiedene, in der BLANEY & CRIDDLE - Formel nicht berücksichtigte Faktoren, machen für das S. L. V. eine Anhebung der Werte für K erforderlich. Hierauf wird weiter unten im einzelnen einzugehen sein.

Die Anwendung der Formel wird hier an einem Beispiel kurz erläutert. Gesucht sei der jährliche Wasserverbrauch einer Kartoffelkultur. Ihre Wachstumszeit erstreckt sich in der Regel über 3 1/2 Monate, von Mitte Mai bis Ende August. Nach der Gleichung $E = K \times F$ läßt sich der Wasserverbrauch für die gesamte Vegetationszeit berechnen. Der monatliche bzw. tägliche Wasserverbrauch wäre somit als e_m bzw. e_t zu bezeichnen. Der Koeffizient K ist abhängig von der Art der Kulturpflanzen; für Kartoffeln wird er von BLANEY & CRIDDLE mit 0,65 angegeben (vgl. Tab. 16). F, die Summe der Monatsklimafaktoren wäre in diesem Fall

$$F_{\text{Mai - Sept.}} = f_{1/2 \text{ Mai}} + f_{\text{Juli}} + f_{\text{August.}}$$

f wird berechnet nach $\frac{t \times p}{100}$; p ist nun aus Abb. 18 zu entnehmen. Das S. L. V. liegt zwischen 37° und 38°30' nördlicher Breite. Die mittleren Monatstemperaturen sind aus Abb. 2 sowie Tab. 14 zu ersehen. In derselben Tabelle sind auch die Monatsklimafaktoren aufgeführt. Ihre Summe (F) beträgt für die Kartoffelkultur 20,73. K (nach BLANEY & CRIDDLE 0,65) multipliziert mit F (Summe der Monatsklimafaktoren) ergibt 13,47 inches (342 mm), den Wasser-

verbrauch für die gesamte Wachstumsperiode.

Da für den eigentlichen Wasserbedarf einer Kultur jedoch gilt

$$\text{Wasserbedarf} = \text{Evapo-} \quad \text{effektiver} \\ \text{transpiration} \quad - \quad \text{Niederschlag},$$

ist das obige Ergebnis noch nicht der zuzuführenden Bewässerungsmenge (13,47 inches) gleichzusetzen.

Aus diesem Grunde wird im folgenden der unterschiedliche Einfluß der Niederschläge auf den Wasserbedarf der Feldfrüchte in die Erörterung mit einbezogen.

Gehen die Niederschläge beispielsweise bei hohen Temperaturen als zahlreiche leichte Schauer nieder, so wird dem Boden nur wenig Feuchte zugeführt. Infolge der verringerten Evapotranspirationsrate bewirken sie aber dennoch eine gewisse Reduzierung des Pflanzenwasserbedarfs. Bei heftigen Gewitterregen geht häufig ein Großteil der Niederschlagsmenge als Abfluß verloren. Sind die Niederschläge intensiv und anhaltend, so werden sie unter Umständen zu einem hohen Prozentsatz vom Boden aufgenommen und verringern dadurch die der Pflanze zuzuführende Wassermenge beträchtlich. Die Effektivität der Niederschläge ist demnach abhängig von deren Dichte und Dauer sowie von Klima, Boden und Bewuchsdichte.

Aus Tab. 14 werden nun die durchschnittlichen Monatsniederschlagsmengen für die Wachstumszeit der Kartoffel ermittelt und nach dem in Tab. 17 dargestellten Verfahren in effektive Niederschläge umgerechnet. Dabei werden z. B. vom ersten inch 0,95 , vom zweiten inch 0,90 und vom dritten inch nur noch 0,82 inches als effektiv erachtet. Niederschläge in einer Höhe von drei inches (76 mm) entsprächen demnach einer effektiven Gesamtmenge von 2,67 inches (68 mm).

Für unser Beispiel beträgt die Summe der effektiven, für die Produktion von Pflanzenmasse zur Verfügung

stehenden Niederschläge 2,76 inches (70 mm). Sie wird vom Gesamtverbrauch subtrahiert, wobei sich als Endsumme für Kartoffelkulturen ein Wasserbedarf von 10,71 inches (272 mm) ergibt¹.

-
- 1) Die BLANEY & CRIDDLE - Formel wurde von ACHTNICH (1957) auf das metrische System umgestellt. Die Gleichung zur Ermittlung des Monatsklimafaktors lautet dann

$$f = \frac{32 + 1,8 t}{100} \times p ,$$

wobei t in °C eingesetzt und der Wasserverbrauch dann entsprechend in mm ausgedrückt wird. Der Koeffizient K hat in der metrischen Formel andere Werte als in der ursprüngl. inch - Formel.

Auf die Verwendung der auf das metrische System umgestellten BLANEY & CRIDDLE - Formel in dieser Untersuchung wurde bewußt verzichtet, da dies den Vergleich mit den Ergebnissen der weltweit überwiegend von amerikanischen Experten durchgeführten Berechnungen unnötig erschweren würde. Es soll hier jedoch kurz auf die Erweiterung des Anwendungsbereich der Formel eingegangen werden, die gleichzeitig mit deren Umstellung auf das metrische System vorgenommen wurde.

ACHTNICH berechnet mit ihrer Hilfe nicht nur den Wasserverbrauch in einer Wachstumsperiode, sondern benutzt sie auch zur Ermittlung des monatlichen und täglichen Wasserbedarfs. Zur Feststellung des Tagesbedarfs wird zunächst das Monatsniederschlagsmittel vom monatlichen Wasserverbrauch e subtrahiert, das Ergebnis wird dann durch die Anzahl der Tage des jeweiligen Monats dividiert. Für Berechnungsverfahren werden die auftretenden Verluste durch Multiplikation des Tageswertes mit dem Wind- sowie mit dem Verdunstungsfaktor berücksichtigt.

Weiterhin nahm ACHTNICH bei der Anwendung des Koeffizienten K eine Änderung vor und verwendet diesen auch zur Berechnung des monatlichen Wasserverbrauchs.

An der Verwendbarkeit dieses Verfahrens zur Berechnung des täglichen Wasserverbrauchs erscheinen indessen Zweifel angebracht. BLANEY & CRIDDLE (1962, S. 2 und S. 10) weisen ausdrücklich darauf hin, daß der Koeffizient K zwar bei der Berechnung des Wasserverbrauchs für die gesamte

Im Jahre 1936 liefen im S. L. V. Versuchsreihen zur Ermittlung der tatsächlichen Evapotranspiration von Kartoffelkulturen (BLANEY, H. F., EWING, P. A., ISRAELEN, O. W. et al. 1938). Der Wasserverbrauch der

Vegetationsperiode zufriedenstellende Ergebnisse liefert (s. oben), daß jedoch über kurze Zeiträume der Wasserverbrauch der Kulturen nur wenig mit der Temperatur korreliert.

Um diesem Problem zu begegnen, ist zur Berechnung des Wasserbedarfs kürzerer Zeiträume der Koeffizient k vorgesehen, der u. a. durch stärkere Berücksichtigung des Wasserverbrauchs der Kulturen in den verschiedenen Wachstumsstadien eine bessere Anpassung der Formel an die jeweiligen Wachstumseigenschaften und Wasserverbrauchskurven der einzelnen Kulturen ermöglichen soll (vgl. WOLFF 1973, S. 240-45).

BLANEY & CRIDDLE (1962, S. 11) betonen des weiteren, daß nur ein Teil der Niederschläge als effektiv zu erachten sei und den Pflanzen zum Verbrauch zur Verfügung stehe (s. oben). Dieser Aspekt blieb bei ACHTNICH unberücksichtigt.

WOLFF (1973, S. 239) beurteilt das Vorgehen ACHTNICH's bei der Ermittlung des kurzfristigen Wasserbedarfs mit Hilfe der BLANEY & CRIDDLE - Formel als heute kaum noch vertretbar. Er zeigt auf, daß bei einer Analyse des Tagesmittels der Temperatur eines beliebigen Monats oder Standortes das Temperaturmittel der wärmsten Pentade größer ist als das Temperaturmittel der wärmsten Dekade des gleichen Monats. Dieses wird wiederum höher liegen als das Temperaturmittel der wärmsten, aufeinanderfolgenden 15 Tage etc.. Da in der BLANEY & CRIDDLE - Formel der Gesamtwasserverbrauch in direkter Beziehung zur Lufttemperatur steht, wird der Spitzenbedarf umso größer sein, je kürzer der der Berechnung zugrunde liegende Zeitraum ist. Zur Ermittlung des Spitzenwasserverbrauchs relativ kurzer Zeiträume erscheint daher das Monats-temperaturmittel wenig geeignet.

Gleichermaßen hält WOLFF es nicht für sinnvoll, bei der Berechnung des Wasserbedarfs das Monatsniederschlagsmittel als den Pflanzen voll zur Verfügung stehend anzunehmen. Bei dieser Annahme übersieht ACHTNICH, daß z. B. bei großer Niederschlagsdichte der Abfluß hoch und der für die Pflanze nutzbare Anteil am Gesamtniederschlag gering ist.

Pflanzen wurde durch Messung des Bodenfeuchtegehaltes festgestellt. Im Durchschnitt ergaben sämtliche Versuchsreihen für die gesamte Wachstumsperiode einen Wasserverbrauch von 17,6 inches (447 mm), d.h. 31 % mehr als die nach BLANEY & CRIDDLE errechnete potentielle Evapotranspiration. Eine Erhöhung des vorgeschlagenen Koeffizienten K um etwa 26 % auf 0,82 erscheint in diesem Fall erforderlich.

MOORE und SOLTANPOUR (1972) ermittelten auf der Versuchsfarm der Colorado State University bei Center/ S. L. V. von 1965 bis 1967 die Evapotranspiration von Kopfsalat (Great Lakes 659 Head Lettuce), dessen Wachstumszeit drei Monate (Juni bis August) umfaßt. Der Wasserverbrauch (Durchschnittswert der Jahre 1965 bis 1967) betrug 19,3 inches (490 mm). Die mittels der BLANEY & CRIDDLE - Formel (der Koeffizient K für Salatkulturen ist mit 0,60 angegeben) errechnete potentielle Evapotranspiration beträgt jedoch lediglich 10,91 inches (277 mm) oder 57 % des gemessenen Wasserverbrauchs.

Demnach würde eine Erhöhung von K um 75 % auf 1,05 der natürlichen Ausstattung des S. L. V. Rechnung tragen.

Die Tatsache, daß bei Kartoffeln wie auch bei Salatkulturen die unter Verwendung der BLANEY & CRIDDLE - Formel für die potentielle Evapotranspiration ermittelten Werte weit unter jenen liegen, die durch Messung des Wasserverbrauchs festgestellt wurden, zeigt, daß der von BLANEY & CRIDDLE vorgeschlagene Koeffizient K den spezifischen natürlichen Voraussetzungen des S. L. V. nicht vollkommen gerecht wird. Die K - Werte sind aus diesem Grunde entsprechend anzuheben. Diese Erhöhung ist jedoch - wie am Beispiel der Kartoffel- und Salatkulturen nachgewiesen - für jedes Anbauprodukt und jeden Teilbereich des

Untersuchungsgebiets gesondert vorzunehmen. Die erforderliche Abänderung des Koeffizienten K dürfte in unmittelbarem Zusammenhang stehen mit der Höhenlage des San Luis - Beckens, seinen leichten Böden sowie mit den häufig auftretenden sommerlichen Glutwinden bzw. deren hohem Austrocknungseffekt. Das Zusammenspiel dieser Faktoren bedingt die Sonderstellung der Bewässerungsoase:

- Höhenlage: SCHREIBER (1969, S. 66 und 1971, S. 123) sowie zuvor schon TURNER & CHRISTIANSEN (1962, S. 65-67) stellen aufgrund von Versuchsergebnissen fest, daß unter bestimmten Voraussetzungen die Verdunstung mit der Höhe, bei gleichzeitiger Abnahme des Luftdrucks, zunimmt. Für die kurze, heiße Vegetationsperiode des fast geschlossenen Hochgebirgsbeckens könnte demnach die potentielle Evapotranspiration höher anzusetzen sein als beispielsweise für den entsprechenden Zeitraum in tiefgelegenen, küstennahen Bewässerungsgebieten des amerikanischen Westens, deren natürliche Voraussetzungen bei der Bestimmung der K - Werte als Grundlage dienten.
- Böden: Das Wasserhaltevermögen der in weiten Teilen des S. L. V. auftretenden, leichten Böden ist gering; die Kulturen benötigen daher häufigere Wassergaben. Hohe Sicker- und Verdunstungsverluste sprechen für eine Anhebung des Koeffizienten K.
- Winde: Der starke Austrocknungseffekt der heißen sommerlichen Winde stimuliert sowohl die Evaporation als auch die Transpiration bedeutend. Da mit abnehmender Bodenfeuchte auch die Wasseraufnahmefähigkeit der Pflanze sinkt, muß die Boden-

feuchtigkeit häufiger durch Wassergaben ergänzt werden. Höhere Evapotranspirationsquoten sind die Folge.

7.3. Bodenmelioration

Im S. L. V., insbesondere im Bereich des Abflußlosen Beckens, liegen etwa 81 000 ha brach, die früher kultiviert bzw. kultivierbar waren (TRIERWEILER & WHITNEY 1963, S. 1). Dies ist nur zum Teil auf die dort während der Vegetationszeit häufig unzureichende Versorgung mit Bewässerungswasser guter Qualität zurückzuführen. Bezeichnend ist vielmehr, daß große Areale für eine landwirtschaftliche Produktion unbrauchbar geworden sind, weil jegliche - natürliche und künstliche - Drainage fehlt. Hohe Stauwasserspiegel, an gelösten Salzen reiches GW sowie Chlorid - Sulfatverbrackung und Sodaverbrackung der Böden sind die Folgen.

Ein Großteil der aufgegebenen Gebiete könnte nach umfassenden Maßnahmen zur Feldentwässerung und zur Verbesserung der Bodenstruktur wieder in Kultur genommen werden. Dadurch ließe sich auch die fortschreitende Versalzung der angrenzenden noch bewirtschafteten Beckenbereiche eindämmen und deren überwiegend auf Grenzertragsniveau abgesunkene Produktion steigern.

7.3.1. Meliorationsexperimente

Um dem Farmer Daten und präzise Anleitungen für Bodenverbesserung und Ertragssteigerung - abgestimmt auf die spezifischen Erfordernisse des S. L. V. - an die Hand geben zu können, wurde im Jahre 1952 im Gebiet von Mosca - Hooper (4 km nordöstlich von Mosca, im Abflußlosen Becken; vgl. Karte 2) auf einer Fläche von 32 ha eine Versuchsfarm angelegt, die bis 1966

bestand. Sie ging hervor aus einem Gemeinschaftsprojekt des damaligen Colorado Agricultural and Mechanical College (heute: Colorado State University), des Mosca - Hooper Soil Conservation District, des U. S. Salinity Laboratory und des U. S. Bureau of Reclamation (FRANKLIN & WHITNEY 1959, S. 4).

Hauptziel der Versuchsreihen war die Ermittlung praktikabler und wenig aufwendiger Methoden zur Melioration salz- und stauwassergeschädigter Böden¹. Um bei den Experimenten die Reaktion versalzter Böden sowohl mit sehr hohem als auch mit tiefem GW - Stand zu untersuchen, wurde die Versuchsfläche aufgegliedert in ein Areal mit hohem GW - Spiegel (Flurabstand 60 bis 180 cm) und ein weiteres mit tieferem GW - Stand (Flurabstand 120 bis 300 cm). Mit Hilfe eines 1950 angelegten Pumpbrunnens senkte man im letzteren Bereich den GW - Spiegel ab und führte das anfallende Pumpwasser über eine Rohrleitung dem ersteren Bereich zu. Aus Sickergräben gelangte es dort zur Unterflurbewässerung (vgl. Kapitel 5.2.3.) in den Boden und bewirkte den gewünschten Anstieg des GW - Spiegels (GARDNER & CODE 1951, S. 14).

Die Ertragsdaten in Tab. 18 stammen aus dem Jahre 1953 und beziehen sich auf die Versuchsflächen mit Unterflurbewässerung und zusätzlicher Oberflächenbewässerung (Überflutungsverfahren; vgl. hierzu Kapitel 5.2.1.). Die Salzauswaschung wurde bei niedrigem GW - Stand unter Verwendung von GW durchgeführt. Die Tabelle zeigt, daß Bodenzusätze zur Veränderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften nur dann voll wirksam werden können, wenn Bewässerungswasser in

1) Zur Einführung in die Problematik der Bodenmelioration sei auf Spezialliteratur verwiesen, z. B. U. S. D. A. 1954, REEVE et al. 1955, JANITZKI 1957, WILCOX & RESCH 1963, KREEB 1964.

ausreichenden Mengen zur Verfügung steht. Der Zusatz von Gips hat günstige Auswirkungen auf Bodenstruktur und Erträge. Auffallend ist, daß bei Verwendung grösserer Wassermengen zur Salzauswaschung auch ohne chemische Zusätze beachtliche Ertragssteigerungen zu erzielen sind. Ein Vergleich der Erträge von Gerste und Klee macht indessen deutlich, daß die für optimale Ergebnisse erforderliche Menge chemischer Bodenzusätze je nach Anbauprodukt stark variiert, und demnach der Ermittlung der jeweils günstigsten Menge große Bedeutung zukommt.

Während der Jahre 1956 bis 1958 lief auf der Mosca - Hooper - Farm eine Versuchsreihe zur Ermittlung der Erträge von Alfalfagrass bei unterschiedlichen Wassergaben sowie verschiedenen Bewässerungsverfahren. Parallel dazu wurden Veränderungen im Neutralsalz- und Natriumgehalt der Böden in verschiedener Tiefe nach der Höhe der Wassergaben und nach Bewässerungsverfahren getrennt registriert.

Zunächst sei in Tab. 19 der Flurabstand des GW's im genannten Versuchszeitraum veranschaulicht; er wurde im dränierten Areal nach längerer Betriebszeit der Motorpumpe ermittelt.

Die ungewöhnlich günstigen Schneeverhältnisse auf den umrahmenden Gebirgsketten im Winter 1956/57 hatten hohe Abflußspenden zur Folge (vgl. hierzu auch Abb. 8); in Verbindung mit den überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen bewirkten diese im genannten Zeitraum einen beträchtlichen Anstieg des GW - Spiegels. Die Förderung von GW für Bewässerungszwecke von Mitte Mai bis Oktober 1957 blieb ohne Auswirkungen auf den Stand des GW - Spiegels. Sein weiterer Anstieg - trotz Entnahme für die Bewässerung - spiegelt den hohen Sättigungsgrad der Sedimente des ungespannten GW - Leiters während des Meßzeitraums wider.

Abb. 19 zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher Wassergaben auf die Alfalfa - Erträge der Jahre 1957 und 1958. Intensivere Bewässerung brachte demnach im dränierten Areal (mit tiefem GW - Stand) deutlich höhere Erträge; auf den Feldern mit Unterflurbewässerung ist bei zusätzlicher Überflutungsbewässerung jedoch keinerlei Ertragssteigerung zu erkennen.

Auf den dränierten Feldern wurden in beiden Jahren drei bzw. sechs Mal je 100 mm Wasser zugeführt; die mittels Unterflurbewässerung versorgten Anbauflächen erhielten drei bzw. keine zusätzlichen Oberflächenbewässerungen. Pro Bewässerung wurden auch hier 100 mm zugeführt.

Durch Erhöhung der Anzahl der Wassergaben wurde also auf den dränierten Feldern eine beachtliche Steigerung der Hektarerträge von Alfalfagrass (bis 2,9 t/ha) erzielt; zusätzliche Überflutungsbewässerung im unterflurbewässerten Bereich blieb dagegen ohne Auswirkungen auf die Erträge.

Die Ergebnisse der Bodenanalyse kommen in den Abbildungen 20 und 21 zur Darstellung. Ende 1956 waren die untersuchten Böden beider Versuchspartzellen (mit Drainage und mit Unterflurbewässerung) bis in eine Tiefe von 85 cm - von unbedeutenden Resten abgesehen - frei von Neutralsalzen und Natrium. Der negative Einfluß des hohen GW - Standes (Unterflurbewässerung) sowie die Wirkung der während der Jahre 1957 und 1958 verabreichten Wassergaben auf den Grad der Chlorid - Sulfatverbrackung (s. Abb. 20) und der Sodaverbrackung (s. Abb. 21) der Böden lassen sich gut erkennen.

Auf den dränierten Feldern, wo der GW - Spiegel während der gesamten Anbauzeit mehr als 2 m unter Flur lag, fand innerhalb der Bodenschicht von 0 bis 85 cm im Grunde keine Neuakkumulation schädlicher Salze statt (vgl. Abb. 20 + 21).

Auf den Feldern mit Unterflurbewässerung (durchschnittlicher Flurabstand 1 m, Minimum 60 cm; vgl. Tab. 19), erfolgte dagegen eine rapide Anreicherung von Neutralsalzen und Natrium (vgl. Abb. 20 + 21).

Am Ende der Anbauperiode des Jahres 1958 zeigten die oberen Bodenschichten im Bereich mit Unterflurbewässerung bereits wieder Leitfähigkeitswerte¹, die sie als Salzböden² auswiesen (s. Abb. 20). Auch das umtauschbare Natrium hatte in nahezu der gesamten untersuchten Tiefe bereits wieder kritische Konzentrationen erreicht; die Böden waren demnach als alkalisch zu klassifizieren (s. Abb. 21).

1) In diesem Zusammenhang sei der Vorgang der Leitfähigkeitsmessung kurz erläutert. Im Labor wird aus trockenem Boden ein Sättigungsextrakt (saturation extract) hergestellt. Dabei wird 100 g Boden unter Umrühren langsam destilliertes Wasser zugegeben, bis das Stadium der Sättigung erreicht ist, d. h. der Brei beim Neigen des Gefäßes langsam seitlich wegfließt (KREEB 1964, S. 100).

2) Hier sei auch auf Tab. 12 hingewiesen; sie vermittelt eine Übersicht über die Salzbodentypen und deren Charakteristika.

Zur Definition: Als NEUTRALSALZBÖDEN werden diejenigen Böden bezeichnet, deren Neutralsalzgehalt mehr als 0,1 Gewichtsprozent beträgt. Salztolerante Kulturpflanzen wie z. B. Gerste gedeihen noch bis zu 1 % Salz im Boden. Ihre genaue Bewertung erfolgt heute mit Hilfe der physikalisch - chemischen Meßwerte des U. S. Salinity Laboratory in Californien (1953), d. h. über die elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes eines Bodens (s. obige Anmerkung). Beträgt diese mehr als 4 mmhos/cm, so liegt ein Salzboden vor.

ALKALISCHE BÖDEN sind ohne Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenstruktur nicht kultivierbar, da sie zur Verdichtung neigen. Als Kriterium für die Alkalität gilt der Prozentsatz an umtauschbarem Natrium im Boden; liegt dieser höher als 15 %, so handelt es sich um Alkaliböden. Für den Prozentsatz an umtauschbarem Natrium gilt folgende Beziehung:

$$\begin{array}{l} \% \text{ umtauschb.} \\ \text{Natrium} \end{array} = \frac{\text{Millival umtauschb. Na pro 100 g Boden} \times 100}{\text{Kationenumtauschkapazität pro 100 g Boden}}$$

Fortsetzung b.w.

Auf den 1956 praktisch neutralsalz- und natriumfreien Böden der Parzelle mit Unterflurbewässerung hatte sich somit innerhalb von zwei Jahren eine derartige Anreicherung schädlicher Salze (Leitfähigkeitswerte über 4 mmhos/cm) eingestellt, daß sie wieder als Neutralsalzböden einzustufen waren. Da auch die Natriumakkumulation im gesamten Bereich den Schwellenwert von 15 (% umtauschbares Natrium) überschritt, handelte es sich um Salzalkaliböden. In den tieferen Bodenschichten war die Alkalisierung intensiver als die Anhäufung von Neutralsalzen.

Wassergaben, die den Feldern mit Unterflurbewässerung während der Anbauperiode zusätzlich zugeführt wurden, konnten die Neuakkumulation der Salze nicht verhindern. Zwar wurden bei zusätzlicher Überflutungsbewässerung die Neutralsalz- und Natriumwerte in der oberen Bodenschicht (zwischen 0 und 20 cm) gegenüber jenen ohne Oberflächenbewässerung etwas reduziert; die tieferen Bodenschichten (zwischen 45 und 85 cm) wiesen jedoch durchweg dort einen höheren Gehalt an schädlichen Salzen auf, wo oberirdische Bewässerung hinzukam.

Zusätzliche Überflutungsbewässerung kann demnach auf Feldern mit hohem GW - Spiegel (Flurabstand 60 bis 90 cm) die Akkumulation schädlicher Salze nicht unterbinden, stattdessen führt sie teilweise zu einer Intensivierung derselben.

Es kann also festgehalten werden, daß Unterflurbewässerung auf nahezu salz- und natriumfreien Böden

Unter Kationenumtauschkapazität versteht man die Menge Millival Kationen, die in umtauschbarer Form von 100 g trockenem Boden zurückgehalten werden (KREEB 1964, S. 100).

bereits nach zwei Jahren Salzakkumulationen hervorrief, die das Pflanzenwachstum stark einschränkten. Sowohl die Ansammlungen von Neutralsalz als auch von Natrium überschritten die kritischen Schwellenwerte. Auf den dränierten Parzellen fand im selben Zeitraum keinerlei nennenswerte Salz- oder Natriumanreicherung statt.

Im Jahre 1956 lief eine Serie von Versuchen mit verschiedenen Bodenbearbeitungstechniken an, in deren Verlauf die Auswirkungen der Bearbeitung tieferer Bodenschichten auf den Ablauf des Meliorationsprozesses und die Aktivierung des kapillaren Aufstiegs (insbesondere bei Unterflurbewässerung) untersucht wurden. Die Experimente fanden parallel auf den sandigen Lehmen der San Luis - Serie und auf den lehmigen Sanden der Gunbarrel - Serie statt¹.

Die Ziele dieser Versuchsreihe für 1959 und 1960 waren:

- Vergleich der Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungstechniken auf die Bodenmelioration sowie auf Erträge von Alfalfa-gras, getestet auf zwei Bodenserien im Bereich der Versuchsfarm.
- Ermittlung der Auswirkungen oberirdischer Bewässerung (Flurabstand des GW's 1,50 bis 1,85 m) auf die Erträge von Alfalfa.

Folgende Bodenbearbeitungsmethoden² waren zu Beginn dieser Reihe von Meliorationsversuchen (1956) zur

-
- 1) Die Vielfalt der im San Luis - Becken auftretenden Bodenserien ist zu groß, als daß diese innerhalb der vorliegenden Untersuchung im einzelnen erfaßt und erörtert werden könnten. Für einen Überblick siehe Kapitel 3.4. und Karte 5.
 - 2) Zur Frage der Melioration durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen vgl. auch KREEB 1964.

Anwendung gekommen:

- | | |
|-----------------------|-------------|
| - Pflügen | 15 cm Tiefe |
| - Tiefpflügen | 90 cm Tiefe |
| - Untergrundlockerung | 90 cm Tiefe |

1959 und 1960 wurde aufgrund des allgemein hohen GW - Standes kein Wasser zur Unterflurbewässerung in die Sickergräben geleitet. Tab. 20 zeigt den GW - Stand während der beiden Jahre sowie die Anzahl der Bewässerungen (≈ 100 mm).

In den Tabellen 21 und 22 sind die Alfalfa - Erträge von 1959 und 1960 auf zwei Bodenserien dargestellt; auf beiden war 1956 eine Bearbeitung in der oben genannten Weise erfolgt. Zudem wurde die Reaktion auf Gipsgaben zur Verbesserung der Bodenstruktur getestet. Auf den grobtexturierten Böden der Gunbarrel - Serie bewirkte Untergrundlockerung bzw. Tiefpflügen durchweg beträchtlich höhere Alfalfa - Erträge als Pflügen in geringer Tiefe (s. Tab. 21); allerdings hatten hier die Erträge schon seit der Durchführung der Bodenbearbeitungsmaßnahmen im Jahre 1956 ständig zugenommen. Durch Gipsgaben ließen sich im Versuchszeitraum keine Mehrererträge erzielen.

Wichtigstes Ergebnis der oben beschriebenen Maßnahmen war das Aufbrechen oberflächennaher Verdichtungshorizonte, die vorwiegend aus sandigem Material bestehen und hohe Natriumkonzentrationen enthalten. Da diese Horizonte das Tiefenwachstum der Wurzeln, die Aufnahmefähigkeit des Bodens für Bewässerungswasser sowie das kapillare Aufsteigen des GW's (bei Unterflurbewässerung) stark beeinträchtigen, waren in ihrem Verbreitungsgebiet die Erträge weit hinter denen vergleichbarer Anbauflächen zurückgeblieben.

Im Profilaufbau der feiner texturierten Böden der San Luis - Serie wurden Verdichtungshorizonte nicht festgestellt. Auf ca. 35 % ihrer Verbreitzone im

Versuchsareal befanden sich jedoch im Unterboden Einschlüsse aus Grobsand und Feinkies, die das Wurzelwachstum sowie den kapillaren Anstieg des GW's hemmten. Letzteres war lediglich bei tiefem GW - Stand festzustellen. In den Bereichen mit Sand - Kieseinschlüssen verringerten sich dementsprechend die Erträge gegenüber jenen mit einheitlicher Textur dann um 50 %, wenn der GW - Spiegel auf ca. 1,4 bis 1,7 m unter Flur absank.

1960 wurde die Anzahl der Bewässerungen erhöht, um die Auswirkungen auf die Alfalfaerträge und das Tiefenwachstum der Wurzeln zu ermitteln. Die Erträge entwickelten sich überwiegend günstig, fielen aber dennoch bei uneinheitlichem Untergrund erheblich geringer aus als auf Böden mit einheitlicher Textur.

1962 fand ein Versuch mit drei Variablen statt, in dessen Verlauf die Wirkung unterschiedlicher Bewässerungsgaben und -verfahren bei gleichzeitiger Verwendung variierender Stickstoff- und Phosphordüngermengen auf die Erträge von Gerste getestet wurde.

Im dränierten Versuchsgelände wurden vier Wassergaben mit sechs Wassergaben zu je 100 mm verglichen, im Bereich mit Unterflurbewässerung dagegen zwei Wassergaben mit vier Wassergaben. Auch hier umfaßte jede Bewässerung 100 mm.

Die Tabellen 23 und 24 fassen die Ergebnisse zusammen. Auf beiden Versuchsparzellen war eine deutliche Reaktion auf die ausgebrachten Düngermengen zu verzeichnen; die Ertragssteigerungen beruhten, wie aus den Produktionszahlen ersichtlich, in der Hauptsache auf den Stickstoffgaben. Bei Gaben von 56 kg Stickstoff pro Hektar ließ sich bei intensiver Bewässerung durch einen Zuschlag von 56 kg Phosphor pro Hektar eine weitere Erhöhung der Ernteergebnisse erzielen. Insgesamt gesehen war die Reaktion auf die Dünger-

gaben beachtlich. So bewirkte beispielsweise auf dränierten Feldern mit intensiver Bewässerung eine Düngergabe von 112 kg Stickstoff pro Hektar einen Mehrertrag von rund 50 % gegenüber ungedüngten Feldern. Intensive Bewässerung allein brachte im dränierten Areal bereits Erträge, die durchschnittlich 3,1 dz/ha oder 9 % über den bei geringerem Wassereinsatz erzielten Erntemengen lagen (vgl. Tab. 23).

Auf den unterflurbewässerten Feldern fiel der durch die Anzahl der Bewässerungen bedingte Unterschied der Erträge im Durchschnitt weniger prägnant aus (nur ca. 6 %). Ein Vergleich mit den oberirdisch bewässerten, dränierten Anbauflächen zeigt jedoch, daß die auf Parzellen mit Unterflurbewässerung erzielten Ernten fast durchweg deutlich höher liegen (s. Tab. 24).

Zusammenfassend seien die Ergebnisse der mehrjährigen Versuchsreihe aufgezeigt:

- Werden bei der Melioration hohe Wassergaben und außerdem chemische Bodenzusätze gegeben, so führt dies zu einer Beschleunigung des Meliorationsprozesses. Die Wirkung der Chemikalien nimmt in der Regel mit der Menge des zugeführten Wassers zu.
- Der hohe Kalk- und Magnesiumgehalt des GW's ermöglicht eine beträchtliche Senkung des Neutralsalz- sowie des Natriumanteils im Oberboden auch ohne Verwendung chemischer Zusätze.
- Maßnahmen zur Durchmischung der tieferen Bodenschichten (durch Tiefpflügen und Untergrundlockerung) brachten bei der Melioration von Böden mit Verdichtungshorizonten und solchen mit linsenförmigen Einschlüssen aus Sanden und Kiesen gute Ergebnisse; Wasseraufnahmefähigkeit, kapillarer Aufstieg und

Tiefenwachstum der Wurzeln wurden intensiviert.

- Bei hohem GW - Spiegel (Unterflurbewässerung) erfolgte in salzfreien Böden binnen kurzer Zeit eine Neuuanreicherung von Neutralsalzen und Natrium; bei tiefem GW - Stand war dagegen keine oder lediglich eine geringe Akkumulation schädlicher Salze festzustellen.
- Auf den grobtexturierten Böden des San Luis - Beckens ist - so zeigen die Versuchsergebnisse - für den erfolgreichen Anbau flachwurzelnder Feldfrüchte, wie z. B. der Gerste, ein hoher GW - Spiegel unerlässlich¹.

Aus den beiden zuletzt aufgeführten Versuchsergebnissen resultiert für den traditionellen² Bewässerungsfeldbau im Untersuchungsgebiet das Problem, daß einerseits auch hier ausreichende Dränage zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit unerlässlich ist, andererseits aber bei bestimmten Anbauprodukten für optimale Wachstumsbedingungen ein hoher Stauwasserspiegel bzw. Unterflurbewässerung gegeben sein müßte.

Durch die Installierung von Beregnungsanlagen konnte dieses Problem in weiten Teilen des S. L. V. während des vergangenen Jahrzehnts weitgehend gelöst werden (vgl. 5.2.4.).

1) Die Möglichkeit der Beregnung blieb in diesem Experiment unberücksichtigt, da zu diesem Zeitpunkt im S. L. V. Beregnungsanlagen noch keine Rolle spielten.

2) Unter 'traditionell' sind in diesem Zusammenhang sämtliche Bewässerungsverfahren mit Ausnahme der Beregnung und neuerer Möglichkeiten zu verstehen.

Mit der Durchführung eines auf Privatinitiative beruhenden Meliorationsprojektes wurde im Jahre 1964 ca. 19 km nordwestlich von Alamosa im Abflußlosen Becken begonnen, welches eine Fläche von 20 200 ha bzw. 30 Farmbetriebe umfaßte (Auskunft des C. S. U. Extension Service, Alamosa). Auf dieses Projekt soll im folgenden eingegangen werden, da es sich hierbei um die ersten großflächigen Meliorationsmaßnahmen handelte.

Zur Versuchsanordnung: Auf Salzalkaliböden (pH - Werte 8,5 bis 9; vgl. hierzu Tab.12) mit stellenweise hohen Natriumkonzentrationen (auf etwa 10 % der zu meliorierenden Fläche) wurden zur Förderung ungespannten GW's 150 Brunnen mit Tiefen von 25 bis 45 m angelegt und Kreisberegnungsmaschinen¹ installiert. Der Stauwasserspiegel lag zu Beginn 1,0 bis 1,2 m unter Flur. Die Melioration der Gebiete mit starker Sodaverbrackung wurde eingeleitet durch Ausbringen von Gips zur Verbesserung der Bodenstruktur. Das durch Umsetzung gebildete Na_2SO_4 (Schwefelsäure) konnte daraufhin ausgewaschen werden. Der relativ hohe natürliche Kalkgehalt des Bewässerungswassers beschleunigte diesen Prozeß erheblich. Auf den übrigen Flächen verwendete man zum Entfernen des schädlichen Natriums in der Regel Handelsdünger auf Schwefelbasis, der teilweise gestreut und teilweise mit dem Bewässerungswasser verregnet wurde. Der Düngereinsatz zu diesem Zweck war im Durchschnitt auf 90 kg/ha bemessen (Auskunft des C. S. U. Extension Service, Alamosa). Das Auswaschen der Neutralsalz- und Natriumakkumulationen erforderte bei Wassergaben von insgesamt 1 000 bis 1 500 mm einen Zeitraum von 5 Jahren; erst

1) Bei diesem Projekt wurden im S. L. V. erstmals Meliorationsvorhaben unter Verwendung von Kreisberegnungsmaschinen durchgeführt.

dann ließen sich gewinnbringende Ernten erzielen.

Dränagesysteme wurden im Meliorationsgebiet nicht angelegt. Die Pumpltätigkeit hatte schon zu Beginn eine Absenkung des Stauwasserspiegels bewirkt, eine Entwicklung, die sich während der ausgeprägten Trockenperiode der Sechziger Jahre (vgl. Abb. 8) verstärkt fortsetzte. So wurden die schädlichen Salze durch die Beregnung zwar gelöst, ausgewaschen und ins GW gespült, ein Abtransport erfolgte jedoch nicht. Hieraus resultiert ein allmählicher Anstieg des Salzgehaltes im GW, welches wieder für die Bewässerung verwendet wird.

Meliorationsprojekte ohne Einbeziehung der Feldentwässerung durch Sammelkanäle erscheinen wenig erfolgversprechend. Die Ergebnisse der allein unter Verwendung von Beregnungsanlagen im Abflußlosen Becken durchgeführten Bodenmelioration, die gleichzeitig auf GW - Absenkung und auf Salzauswaschung abzielte, zeigen indessen neue Möglichkeiten zur Rekultivierung bzw. Inwertsetzung salzgeschädigter Böden auf.

Dennoch werden in Zukunft die Errichtung eines umfassenden Netzes von Dränagesammelkanälen und - wo die Bodenbeschaffenheit dies erfordert - die Installation von Feldentwässerungsrohrsystemen nicht zu umgehen sein. Schließlich ist auch der Bau eines 'Closed Basin Drain' zur großräumigen Entwässerung und zur Schaffung einer distriktweiten, ausgeglichenen Salzbilanz im Abflußlosen Becken unbedingt notwendig, da

- Salz und Wasser in jedem Fall das Becken verlassen müssen;
- aus wasserwirtschaftlichen (vgl. Kapitel 4.3.2.) und finanziellen (s. Kapitel 5.2.4.) Gründen die flächendeckende Installation von grundwassergespeisten Regnern ausscheiden dürfte.

Aufgrund des für das S. L. V. - mit Ausnahme des Abflußlosen Beckens - erlassenen Bauverbots für Bewässerungsbrunnen sind der Neuinstallierung von Regnern außerdem enge Grenzen gesetzt.

7.3.2. Wasserbedarf zu Zwecken der Bodenentsalzung

Für die Erhaltung des natürlichen Gleichgewichts in den Bewässerungssoasen der Trockengebiete sind regelmäßig durchzuführende Maßnahmen zum Auswaschen und Abführen schädlicher Mengen von Bodensalzen - vorwiegend Neutralsalze und Natrium - von elementarer Bedeutung.

Diese Maßnahmen sind jedoch erst dann als wirkungsvoll zu betrachten, wenn ein distriktweites System von isolierten Dränagesammelkanälen in Verbindung mit einem Untergrundrohrnetz den Abtransport des salzbeladenen Wassers aus dem bewässerten Areal gewährleistet.

Weiterhin gilt es, bei der Bewässerung die zur Desalination des Bodens erforderliche Wasserquote in ausreichendem Maße zu berücksichtigen.

Der Wasserbedarf zur Desalination von Böden ist abhängig von der Salztoleranz der Feldfrüchte sowie der Qualität des Bewässerungswassers. Je besser die Wasserqualität, desto geringer sind die Salzmenen, welche im Laufe von Bewässerungs- und Auswaschvorgängen auf das Feld bzw. in den Boden gelangen; dementsprechend verringert sich die Menge des für Entsalzungszwecke aufzuwendenden Wassers.

Im S. L. V. ist das Oberflächenwasser in der Regel von ausgezeichneter Qualität, während die Güte des GW's stark variiert (vgl. Kapitel 3.5.3. und Abb.10).

Der Anteil der Wasserquote für Entsalzungszwecke (LR = Leaching Requirement) am Bewässerungsbedarf wird nach der Formel

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \times 100$$

(U. S. D. A. 1954) berechnet.

Hierbei bedeuten

EC_{iw} = Elektrische Leitfähigkeit des Bewässerungswassers in Millimhos/cm,

EC_{dw} = Elektrische Leitfähigkeit des Dränagewassers in Millimhos/cm; dieser Wert entspricht der Salztoleranz der betreffenden Anbaupflanze an der Basis der Wurzelzone, wenn die Ertragsminderung 50 % nicht übersteigen soll (vgl. Abb. 15).

Die Berechnung des LR sei im folgenden am Beispiel einer Kartoffelkultur mit Bewässerung durch Oberflächenwasser dargestellt. Bei einem EC_{iw} - Wert von 0,35 (Durchschnittswert für Oberflächenwasser im San Luis - Becken, vgl. hierzu auch Abb. 10) und einem EC_{dw} - Wert für Kartoffeln von 6 (U. S. D. A. 1954 und THORNE & PETERSON 1954; vgl. Abb. 15) ergibt sich ein LR - Wert von 6 %. Der Wasserverbrauch (E) für Kartoffelkulturen beträgt je Flächeneinheit und Vegetationsperiode 447 mm (s. Kapitel 7.2.). Nimmt man für das S. L. V. einen durchschnittlichen Bewässerungsnutzeffekt von 60 % an, so beläuft sich der Bewässerungsbedarf auf 745 mm. Danach entsprechen 745 mm einem Anteil von 94 %; die LR - Rate beträgt 6 % = 48 mm.

7.4. Zusammenfassung

Bei der Errichtung des Bewässerungssystems im S. L. V. war der Grundforderung nach Dränung der Feldflächen zur Stabilisierung der veränderten Stoffkreisläufe nicht entsprochen worden. Stauwasser und Bodenversalzung traten auf, und hatten bereits um die Jahrhundertwende hauptsächlich in der nördlichen Talhälfte erhebliche Nutzflächenverluste zur Folge. Erst 1911 begann man mit der Beseitigung der krankhaften Strukturelemente und installierte bis 1936 ein Netz nicht isolierter Sammelkanäle, das etwa 63 000 ha Land entwässerte. Nur auf einem Viertel der damaligen Bewässerungsfläche war somit die Ableitung überschüssigen, mit Salzen angereicherten Wassers möglich. Hinzu kommt, daß die genannten Anlagen ihre Wirkung bis heute nicht voll entfalten konnten, weil zum einen der Forderung nach Installation unterirdischer Entwässerungsstränge nur ungenügend entsprochen wurde, und zum andern die Sammelkanäle häufig aufgestaut und zweckentfremdet zur Unterflurbewässerung verwendet werden.

Obwohl in der gebietsweiten Entwässerung des Abflußlosen Beckens in den Rio Grande die Grundvoraussetzung für die Sicherung der Anbauflächen dieses Talbereichs zu sehen ist, wurde bisher lediglich ein Projekt zur Lösung der akuten Probleme dieses Gebietes verwirklicht. Der Rio Grande Drain erwies sich aber als Fehlschlag, da seine Dränleistung minimal ist. Seit den Dreißiger Jahren wurden am Entwässerungssystem keine wesentlichen Veränderungen mehr vorgenommen, sodaß hoher Salzimport nicht durch entsprechenden Salzexport ausgeglichen wird.

Zur Bekämpfung der Stauwasserprobleme bzw. zur Schaffung einer ausgeglichenen Salzbilanz sind folgende Maßnahmen vordringlich:

- Ausweitung des Dränagekanalnetzes auf die gesamte bewässerte Fläche;

- Installierung zusätzlicher unterirdischer Entwässerungsstränge, wo Bodentextur bzw. Bodenfeuchtehaushalt dies erfordern;
- Unterbindung der zweckentfremdeten Nutzung von Dränagesammelkanälen durch Aufstauen zur Unterflurbewässerung;
- Errichtung des Closed Basin Drain zur Entwässerung der abflußlosen Beckennordhälfte in den R. G. - River.

Nach der Installierung von Entwässerungssystemen können in den durch Salz und Stauwasser geschädigten Gebieten Bodenmeliorationsmaßnahmen durchgeführt werden, die darin bestehen, daß nach erfolgter Absenkung des Stauwasserspiegels der Salzgehalt im Boden durch Auswaschen im Einstauverfahren wirkungsvoll reduziert und die Bodenstruktur durch entsprechende Bearbeitung sowie durch chemische Zusätze verbessert wird.

Die im Abflußlosen Becken durchgeführten Versuche zeigen zwar, daß Bodenmelioration mit ähnlichem Erfolg auch ohne Dränagekanäle - mit Hilfe von Brunnen - praktikierbar ist, wobei der Stauwasserspiegel in einem begrenzten Areal durch Pumptätigkeit abgesenkt wird. Außergewöhnlich gute Ergebnisse erzielte man darüberhinaus bei großflächiger Bodenmelioration durch Beregnung.

Die Produktivität von Böden, die nach den beiden letztgenannten Verfahren melioriert werden, kann allerdings nicht von Dauer sein; auf lange Sicht muß mit erneuter Ausweitung von Bodenversalzung und Stauwasser sowie letztlich mit dem Verlust weiter, heute noch ertragreicher Agrargebiete - vor allem im Abflußlosen Becken - gerechnet werden, wenn dabei nicht gleichzeitig der Forderung nach sachgerechter Dränage und Salzexport entsprochen wird. Während der Melioration durchgeführte Versuche ergaben, daß auf den für das S. L. V. charakteristischen leichten Böden bei einigen Anbaufrüchten durch Unterflurbewässerung

weit bessere Erträge zu erzielen sind als durch Überflutung; dabei findet jedoch im Boden eine intensive Salzanreicherung statt. Die Frage, ob für hohe Erträge rasch fortschreitende Bodenversalzung in Kauf genommen werden sollte, oder langfristig durchschnittliche Ernten bei geringer Salzakkumulation vorzuziehen seien, stellt sich dem Farmer heute kaum mehr, da Unterflurbewässerung nur noch in wenigen Gebieten mit Erfolg praktiziert werden kann. Stattdessen haben sich Überflutung, Furchenbewässerung und insbesondere die Beregnung durchgesetzt.

Um nach der Durchführung von Meliorationsmaßnahmen die Produktivität des Bodens zu erhalten, ist das regelmäßige Auswaschen der Bodensalze unerlässlich. Die hierfür erforderliche Wasserquote ist bei der Bewässerung hinreichend zu berücksichtigen. Sie wurde exemplarisch für eine Kartoffelkultur bestimmt.

Der anhaltende Wassermangel im S. L. V. macht ein Bemühen um günstigere Wassernutzungsgrade erforderlich. Da für die meisten Methoden zur Berechnung des Wasserbedarfs der Kulturpflanzen die benötigten Daten im Untersuchungsgebiet fehlen, läßt sich die den Gegebenheiten entgegenkommende Formel von BLANEY & CRIDDLE verwenden. Allerdings machen Versuchsreihen deutlich, daß wohl aufgrund der besonderen physiogeographischen Bedingungen des San Luis - Beckens eine Überprüfung und Anpassung der K - Werte sämtlicher Feldfrüchte unumgänglich ist. Die für eine Neufestsetzung notwendigen Daten werden durch weitere Versuche zu ermitteln sein.

Brunnenbauverbot und Betriebszeitbeschränkungen für Bewässerungsbrunnen sind als erste wichtige Maßnahmen zur Sicherung und Stabilisierung der GW - Versorgung im Untersuchungsgebiet zu sehen.

8. Der Rio Grande - Vertrag und seine Auswirkungen
auf die Bewässerungswirtschaft

Bereits in den frühen Neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts kam es zwischen den R. G. - Anliegerstaaten Colorado, Neumexiko und Texas zu Streitigkeiten um die Aufteilung des R. G. - Abflusses. Diese führten im Jahre 1896 zu ersten behördlichen Maßnahmen, welche die Einschränkung des Wasserverbrauchs im Flußgebiet des R. G. - River zum Ziel hatten. Durch das sog. 'Embargo' des U. S. Innenministeriums wurde in der Folge jegliche Genehmigung zum Bau von Bewässerungskanälen oder Kanalabschnitten auf bundeseigenem Land verweigert. Die Weiterentwicklung der Bewässerungswirtschaft in dem zu Colorado und Neumexiko gehörenden Teil des R. G. - Beckens war somit bis zur Aufhebung der Verfügung beeinträchtigt.

Das Embargo blieb, von geringfügigen Änderungen abgesehen, bis 1925 in Kraft. 1906 kam der 'Mexican Treaty' hinzu; dieser Vertrag zwischen den U. S. A. und Mexiko sicherte dem Nachbarland unter anderem einen größeren Anteil am R. G. - Abfluß zu. Hierdurch verstärkte sich die Notwendigkeit einer endgültigen Regelung der Wasserentnahme in den einzelnen US-amerikanischen Bundesstaaten; eine solche Abmachung mußte jedoch zwangsläufig zu einer Begrenzung der bis dahin kaum eingeschränkten Wasserentnahme auf dem Staatsgebiet von Colorado führen.

Im Jahre 1918 gab der Water Engineer von Neumexiko bekannt, daß im vorangegangenen Jahrzehnt eine Verringerung des R. G. - Abflusses festgestellt worden sei; dies führte er auf hohe Versickerungsraten

innerhalb des S. L. V. zurück. Weitere Auseinandersetzungen um die Nutzung des R. G. - Wassers führten dazu, daß von dritter Seite vorgeschlagen wurde, eine Kommission aus Vertretern der streitenden Parteien zu bilden und diese mit der Untersuchung sämtlicher Wasserdargebot und Wassernutzung betreffenden Probleme zu betrauen. Ein Vertragsentwurf sollte ausgearbeitet werden.

Im Jahre 1929 wurde von allen Kommissionsmitgliedern zunächst ein provisorischer R. G. - Vertrag unterzeichnet. Der endgültige Vertrag über die Aufteilung des Abflusses unter die betreffenden drei Anliegerstaaten wurde 1939 rechtskräftig. Durch genaue Festsetzung der bei einem bestimmten Jahresabfluß jeweils an den unteren Anrainer abzugebenden Wassermenge schränkt der Vertrag den Verbrauch in verschiedenen Teilen des R. G. - Beckens ein.

Die von Colorado gegenüber Neumexiko zu erfüllenden Lieferverpflichtungen wurden auf der Basis des Zufluß - Abfluß - Verhältnisses im S. L. V. festgelegt. Demnach sind entsprechend der Höhe des jeweiligen Indexzuflusses¹ von der R. G. - Abflußmenge, abzüglich des Los Pinos- und des San Antonio - Abflusses, zwischen 24,5 und 60 % über die Staatsgrenze nach Neumexiko zu liefern. Für die Nebenflüsse Conejos, Los Pinos und San Antonio traf man ähnliche Regelungen.

Bau und Betrieb neuer Stauseen gestattet der Vertrag grundsätzlich nur dann, wenn sie der Abflußregulie-

1) Der Indexzufluß entspricht dem durch Meßstationen oberhalb der ersten Kanalabzweigungen unter Berücksichtigung des jeweiligen Wasserstandes in den Stauseen ermittelten Jahreszufluß (Water Resources of the Upper R. G. - Basin 1970, S. 204 ff.).

rung oder der Fassung und Nutzbarmachung von Wasser dienen, welches sonst ungenutzt aus bestehenden Talsperren abfließen würde (U. S. B. R., S. L. V. Project 1963, S. 58).

Die bisherige Laufzeit des Vertrages läßt sich für Colorado in zwei Abschnitte einteilen; der erste umfaßt den Zeitraum von 1940 bis 1951, der zweite jenen von 1952 bis 1969. Während des ersten Abschnittes entsprachen die von Colorado gelieferten Wassermengen den Vertragsabmachungen. So verzeichnete Colorado noch 1951 ein Guthaben von 1,1 Mio. m³. In der Folge änderte sich die Situation grundlegend; Colorado kam mit seinen Lieferungen in Verzug und hatte 1969 eine Gesamtschuld von ca. 1,06 Mrd. m³ angehäuft (Water Resources of the Upper R. G. - Basin 1970, S. 214 ff.). Bemerkenswert ist, daß das Auflaufen der Lieferschuld in eine Zeit fiel, in welcher die Abflußspenden allgemein beträchtlich unter dem langjährigen Mittel blieben (vgl. Abb. 8).

Im Jahre 1966 hatten Neumexiko und Texas wegen der Lieferschulden bereits einen Prozeß gegen den Staat Colorado angestrengt und erreicht, daß dieser in einer Entscheidung des obersten Bundesgerichtes nachdrücklich zur Vertragseinhaltung verpflichtet wurde. Der State Engineer von Colorado ordnete in diesem Zusammenhang für 1967 und 1968 im S. L. V. eine Einschränkung der Abflußentnahme an - eine Maßnahme, welche die weitere Vergrößerung der Lieferschuld verhindern sollte. Inzwischen verzeichnet Colorado wieder jährlich Lieferüberschüsse; die angehäuften Schuld wurde allerdings noch nicht gänzlich abgebaut. Die konsequente Vertragseinhaltung führt indessen häufig zur Verknappung des im S. L. V. für Bewässerungszwecke zur Verfügung stehenden Oberflächenwassers.

Die Ursache dieses Problems ist letztlich wiederum im für das S. L. V. essentiellen Mangel an Staukapazität zu suchen. Da der Verwirklichung von Stauseeprojekten aus bereits weiter oben angeführten Gründen große Schwierigkeiten im Wege stehen, versucht man durch verschiedene andere wasserwirtschaftliche Maßnahmen eine Erhöhung des Oberflächenwasseraufkommens zu erreichen.

Die zuständigen Behörden ordneten zunächst vor einigen Jahren den Baustopp für Bewässerungsbrunnen sowie neuerdings die zeitliche Beschränkung der Förderung von ungespanntem GW an (vgl. auch Kapitel 4.3.2). Es ist zu erwarten, daß diese Maßnahmen zur Reduzierung der hohen Sickerverluste führen, welche vor allem auf verschiedenen Laufabschnitten des R. G. - River auftreten, die mit dem gespannten GW - Leiter in hydraulischer Verbindung stehen (EMERY et al. 1973, S. 23 ff.).

Weiterhin ist geplant, bis Ende der Siebziger Jahre sämtliche Bewässerungspumpen im Untersuchungsgebiet mit Zählern zu versehen, um auf diese Weise den Verbrauch der einzelnen Betriebe zu überwachen sowie die Belastung, insbesondere des ungespannten GW - Leiters, zu ermitteln (Mittlg. des R. G. W. C. D., Alamosa). Hierbei ist allerdings mit erheblicher Opposition von Seiten der Farmer zu rechnen.

Projekte, die eine Erhöhung des Wasseraufkommens zum Ziel hatten, wurden schon bald nach Abschluß des R. G. - Vertrages im Jahre 1939 ausgearbeitet. Der erste Plan, unterbreitet vom Colorado Water Conservation Board (1939), beinhaltete den Bau eines etwa 40 km langen und durchschnittlich 2,5 m tiefen Drainagekanals im Abflußlosen Becken, durch den vor allem auch die Anbauflächen um Mosca und Hooper entwässert werden sollten. Dieses Gebiet war infolge von Stau-

wassererscheinungen und Bodenversalzung aufgegeben worden (s. auch Kapitel 6.1.). Der Kanal sollte dem R. G. - River jährlich ca. 74 Mio. m³ Wasser zuführen (U. S. B. R., S. L. V. Project 1963, S. 61).

Ein späteres, vom Bureau of Reclamation ausgearbeitetes Projekt (Karte 18) sieht vor, das Wasser, welches im Abflußlosen Becken bei hohen Evapotranspirationsraten ungenutzt an die Atmosphäre abgegeben wird (vgl. hierzu auch Tab. 2), mit Hilfe eines weit verzweigten, von zahlreichen Pumpbrunnenanlagen gespeisten Drainagekanalsystems über die GW - Scheide dem R. G. - River zuzuleiten. Sollte das Drainageprojekt realisiert werden, so wäre aus dem ca. 44 000 ha umfassenden, davon profitierenden Areal ein durchschnittliches Wasseraufkommen von 125 Mio. m³ pro Jahr zu erwarten (U. S. B. R., S. L. V. Project 1963, S. 70). Um diese Wassermenge würde sich demnach der R. G. - Abfluß erhöhen.

Auf das zusätzlich zu gewinnende Wasser bezieht sich eine spezielle R. G. - Vertragsklausel. Sie legt fest, daß Wasser aus dem Abflußlosen Becken nur dann als Vertragslieferung angerechnet werden kann, wenn es einer festgesetzten Qualitätsnorm entspricht (R. G. Compact Commission 1970, S. 23) bzw. der hohe Salzgehalt des Drainagewassers vor seinem Einströmen in den R. G. - River durch Beimengung wenig salzhaltigen Wassers entsprechend reduziert wird (U. S. B. R., S. L. V. Project 1963, S. 58).

Inzwischen liegen mehrere Varianten des Planes zur Entwässerung der nördlichen Talhälfte vor; in keinem Falle kam man jedoch über das Planungsstadium hinaus, da unter anderem die ansässigen Farmer sich grundsätzlich allen derartigen Projekten widersetzen. Sie vertreten die Meinung, daß dadurch ihnen zustehendes Wasser als Vertragslieferung an andere Staaten abgegeben werde.

Zudem befürchten die Projektgegner, daß - trotz aller in die Pumpsysteme zur Gewährleistung einer Mindesthöhe des GW - Spiegels eingeplanten Sicherheitsvorkehrungen - dieser dennoch auf ein kritisches Niveau absinken könnte. Eine Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Produktion im intensiv genutzten Westteil des Abflußlosen Beckens wäre zwangsläufig die Folge (eig. Umfragen im Closed Basin).

9. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Ausgehend von den physiogeographischen Gegebenheiten wurde aufgezeigt, daß landwirtschaftlicher Anbau im Hochgebirgsbecken des San Luis Valley nur auf Bewässerungsbasis möglich ist und seiner Produktvielfalt durch die besonderen klimatischen Bedingungen enge Grenzen gesetzt sind; aufgrund der kurzen Wachstumsperiode sind nur schnell reifende Feldfrüchte geeignet. Die Anbaupalette setzt sich hauptsächlich aus Kartoffeln, Gerste, Weizen, Alfalfa und verschiedenen Gemüsesorten zusammen. Seit Anfang des Jahrhunderts vollzieht sich eine Verlagerung des Schwerpunktes der landwirtschaftlichen Erzeugung von Weizenmonokultur auf Kartoffeln, Alfalfa und Gerste. Der Übergang zu den heutigen Hauptanbauprodukten brachte eine Zunahme des Wasserverbrauchs pro Flächeneinheit mit sich.

Die Varianz der Bodenarten hat eine gewisse Differenzierung des Anbaus innerhalb des Beckens zur Folge; die sehr leichten Böden in den Randlagen scheiden naturgemäß für Kartoffelkulturen aus. Unterschiede im Bodensalzgehalt, vor allem im Abflußlosen Becken, bewirken eine deutliche Ost - West - Abfolge von besser zu weniger angepaßten Feldfrüchten.

Obwohl im Untersuchungsgebiet in der Regel ein reichliches Oberflächenwasserangebot zur Verfügung steht, führte die sowohl saisonal als auch von Jahr zu Jahr stark variierende Wasserführung der Flüsse - insbesondere des Rio Grande - in der Bewässerungswirtschaft schon früh zu Versorgungsengpässen. Hierdurch kam es zu beträchtlichen Schwankungen der Bewässerungsflächenausdehnung von einer Anbauperiode zur anderen. Die kultivierte Fläche umfaßte seit Beginn der Landnahme vor mehr als hundert Jahren zwar zeitweise über 300 000 ha; nach einem längeren Schrumpfungsprozeß

durch Wassermangel und wirtschaftliche Krisen pendelte sie sich jedoch in den letzten beiden Jahrzehnten mit ca. 180 000 ha wieder auf dem Stand der frühen Zwanziger Jahre ein.

An der für den Bewässerungsfeldbau im S. L. V. charakteristischen Wasserknappheit konnten mehrere zwischen 1905 und 1915 errichtete Talsperren nur wenig ändern, da ihr Gesamtstauvolumen von ca. 265 Mio. m³ für eine adäquate Überjahresspeicherung bei weitem nicht ausreichte. Eine effektive Abflußregulierung hätte die Schaffung von mindestens 600 Mio. m³ zusätzlicher Staukapazität vorausgesetzt. Erst durch die Erschließung der GW - Vorräte sollte die direkte Abhängigkeit der Bewässerungswirtschaft von den jeweiligen Abflusssmengen gemindert werden.

Als mit Inkrafttreten des R. G. - Vertrages im Jahre 1939 die Aufteilung des R. G. - Abflusses unter die Anrainerstaaten gesetzlich geregelt wurde, sah man sich vor allem im S. L. V. zu starken Einschränkungen der Oberflächenwasserentnahme gezwungen. Zudem bestand von diesem Zeitpunkt an nur noch in Ausnahmefällen die Möglichkeit, das Gesamtstauvolumen innerhalb des Beckens durch den Bau zusätzlicher Talsperren zu erweitern. Zur Wasserverknappung durch gesetzgeberische Maßnahmen kam noch eine natürliche Verringerung des R. G. - Abflusses, die seit fast fünf Jahrzehnten zu beobachten ist.

Eine ungewöhnlich lange Trockenperiode in den Fünfziger und Sechziger Jahren mit gravierenden Versorgungsengpässen führte dazu, daß man mit hektischer Aktivität an die Erschließung der bis dahin noch wenig genutzten, umfangreichen GW - Reserven ging. Die ursprüngliche Oberflächenwasseroase wandelte sich somit zur Oberflächenwasser - Grundwasseroase. Hieraus entstanden allerdings neue Probleme. Auf einigen Laufabschnitten des R. G. - River wurden unerwartet

hohe Abflußverringerungen festgestellt; eine hydraulische Verbindung zwischen Fluß und GW - Leiter führte dort während der Spitzenentnahmezeiten durch Bewässerungsbrunnen zu starken Sickerverlusten. Zur Einschränkung dieser Verluste verhängten die Behörden einen Bau-stopp für Bewässerungsbrunnen über den gesamten südlichen, vom R. G. - River entwässerten Beckenbereich und begrenzten außerdem die Betriebszeit der bestehenden Brunnen. An sämtlichen Brunnenpumpen ist die Installierung von Zählern vorgesehen. Von diesen Maßnahmen verspricht man sich eine bessere Überwachung des Verbrauchs der einzelnen Betriebe sowie der Gesamtgrundwasserförderung. Auch bei der Nutzung artesischen Wassers könnten durch übermäßig hohe Entnahmeraten Probleme, d. h. starker Druckabfall auftreten, was - wie die Entwicklung im kalifornischen Santa Clara Valley zeigt - in der Regel irreversible Bodensenkung zur Folge hat. Eine ständige Kontrolle der Druckhöhe ist daher unumgänglich.

Die in der Hauptsache durch die saisonale Verteilung des Abflusses und die im R. G. - Abkommen vereinbarten Lieferquoten verursachte Wasserknappheit ist nicht bzw. nur in geringem Maße durch die Erschließung zusätzlicher, ungenutzter Reserven zu beseitigen. Es gilt daher, den Wasserverbrauch im Untersuchungsgebiet kritisch zu überprüfen und die bislang ungünstigen Wassernutzungsgrade zu verbessern.

Zunächst sind die hohen Sickerverluste der Bewässerungskanäle - besonders im Schwemmfächerbereich des Rio Grande - durch Isolierung einzuschränken. Diese Maßnahme kann jedoch nur selektiv auf einzelnen Kanalabschnitten durchgeführt werden, damit keine umfassende Beeinträchtigung der Zufuhr zum GW eintritt.

Um bei der Bewässerung selbst durch exakte Bemessung der Wassergaben zufriedenstellende Wassernutzungsgrade zu erzielen, ist der Wasserbedarf der Pflanzen durch Berechnung zu ermitteln. Hierfür stellt die BLANEY & CRIDDLE - Formel eine Möglichkeit dar.

Bei den traditionellen Bewässerungsverfahren muß dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit im Wasserverbrauch künftig größere Bedeutung beigemessen werden. Hierfür ist die exakte, sachgerechte Planierung der Feldflächen unerläßlich, die in weiten Bereichen des Tales noch aussteht. Um bei Überflutungsbewässerung auf den leichten Böden des S. L. V. optimale Ergebnisse zu erzielen, sind - wie Versuche zeigten - längere, relativ schmale Parzellen und größere Zuleitungsmengen bzw. kürzere Aufbringungszeiten als bisher vorteilhafter. Verluste durch Perkolation und Evaporation lassen sich bei Überflutung auf diese Weise verringern.

Aus neueren statistischen Daten geht hervor, daß sich der Einsatz von Kreisberegnungsmaschinen aufgrund ihrer vielfältigen Vorteile - trotz hoher Investitionskosten - in den letzten Jahrzehnten sprunghaft ausgeweitet hat. Sie gewährleisten, insbesondere auf den vorherrschend groben Sedimenten, maximale Wassernutzungsgrade bei höheren Erträgen. Eine allmähliche Umstellung auf Beregnungsanlagen im gesamten Beckenbereich wäre allerdings auch bei ausreichender Finanzkraft der Farmer aufgrund der geltenden Bestimmungen nicht realisierbar. Zwar ist die Umrüstung bestehender Brunnen auf Beregnung weiterhin möglich, Brunnenneuanlagen sind jedoch nur noch in der nördlichen abflußlosen Talhälfte gestattet, da dort die für den Südwesten angeführten diesbezüglichen Probleme nicht auftreten.

Sollte eine Änderung der Bestimmungen künftig die talweite Beregnung ermöglichen, so würden dem ungespannten GW - Leiter infolge des bei diesem Verfahren hohen Wassernutzungsgrades nur noch minimale Wassermengen durch Versickerung zugeführt; hieraus könnte eine allmähliche Entleerung des GW - Leiters resultieren.

Diesem Problem könnte man durch gezielt herbeigeführte Versickerung derjenigen R. G. - Wasserquoten begegnen, die infolge von GW - Nutzung von den Farmern nicht mehr in Anspruch genommen werden. Für die Versickerung wären

solche Kanäle am besten geeignet, die in den hochpermeablen Sedimenten der westlichen Talrandzone verlaufen und deshalb die in diesem Fall notwendigen, maximalen Sickerraten aufweisen.

Beim Aufbau des Bewässerungssystems war für die Entwässerung der Anbauflächen nicht gesorgt worden, sodaß sich zwangsläufig nach wenigen Jahrzehnten schon Schäden durch Stauwasser und Bodenversalzung einstellten.

Diese Entwicklung wurde durch die weithin praktizierte Unterflurbewässerung begünstigt. Von den Auswirkungen am schwersten betroffen war der Ostteil des Abflußlosen Beckens, wo schon zwischen 1890 und 1910 umfangreiche Kulturflächen aufgegeben worden waren. Zunächst glich man die Landverluste im Osten durch Neukultivierung im höher gelegenen Westen aus. Erst als die damals bewässerbaren Landreserven erschöpft waren, Stauwasser und Bodenversalzung aber weiter um sich griffen, entschloß man sich zu Gegenmaßnahmen, in deren Verlauf zwischen 1911 und 1936 nördlich und auch südlich des R. G. - River verschiedene Entwässerungskanalsysteme installiert wurden. Hierdurch gelang es zumeist, den Stauwasserspiegel abzusenken und die Salzbilanz zu verbessern. Da jedoch bei der Durchführung dieser Projekte die wirkungsvolle gebietsweite Entwässerung der Beckennordhälfte in den R. G. - River unberücksichtigt blieb, d.h. die eigentliche Ursache der Stauwassererscheinungen in diesem Talbereich nicht beseitigt worden war, fand lediglich eine Verlagerung des Problems statt. In den nun ausreichend entwässerten, höher gelegenen Gebieten anfallendes Dränagewasser führte zur Verschärfung der Stauwasserbildung in den tiefer gelegenen Bereichen. Dennoch wurde das Entwässerungssystem seit den Dreißiger Jahren nicht wesentlich verändert oder erweitert. Das Closed Basin Project zur Entwässerung des Abflußlosen Beckens, welches zur Verringerung der hohen Evapotranspirationsraten und gleichzeitig zu einer Erhöhung des Wasserangebots für Bewässerungszwecke

um mindestens 125 Mio. m³/ Jahr führen würde, scheiterte bisher in erster Linie am Widerstand der Farmer.

Da Stauwasser und Bodenversalzung keine unabänderlichen Folgen von Bewässerung in ariden Beckenlandschaften sind, sondern auf gravierende Unterlassungen beim Eingriff in die natürlichen Stoffkreisläufe zurückgehen, müssen im gesamten bewässerten Areal Maßnahmen zur Beseitigung der krankhaften Strukturelemente durchgeführt werden.

Zunächst gilt es, das bestehende Netz von Drainagekanälen auf die gesamte Bewässerungsfläche auszudehnen. Parallel dazu ist der Wirkungsgrad der Kanäle, die häufig Dränagewasser nur aus unmittelbar benachbarten Feldflächen aufnehmen, durch die Installierung zusätzlicher unterirdischer Entwässerungsstränge zu erhöhen. Eine behördliche Anordnung muß außerdem die Zweckentfremdung von Dränagesammelkanälen durch Aufstau zur Unterflurbewässerung zumindest für einen Teil des Jahres unterbinden, da hierdurch die Dränung der Anbauflächen bzw. die Salzausfuhr in hohem Maße behindert wird. In stauwassergefährdeten Gebieten ist die Abdichtung der wichtigsten Bewässerungskanäle anzustreben, da Sickerverluste dort zur Verschärfung des Problems beitragen.

Im Teilbereich des Abflußlosen Beckens muß vor allem das Closed Basin Project zur gebietsweiten Entwässerung verwirklicht werden.

Nach der Installierung von Entwässerungssystemen sind in den durch Salz und Stauwasser geschädigten Gebieten Bodenmeliorationsmaßnahmen durchzuführen, die darin bestehen, daß nach erfolgter Absenkung des Stauwasserspiegels der Salzgehalt im Boden durch Auswaschen im Einstauverfahren wirkungsvoll reduziert und die Bodenstruktur durch entsprechende Bearbeitung sowie mit chemischen Zusätzen verbessert wird.

Die im Abflußlosen Becken durchgeführten Versuche zeigen zwar, daß Bodenmelioration mit ähnlichem Erfolg

auch ohne Dränagekanäle - mit Hilfe von Brunnen - praktikierbar ist, wobei der Stauwasserspiegel in einem begrenzten Areal durch Pumptätigkeit abgesenkt wird. Bemerkenswerte Ergebnisse erzielte man darüberhinaus bei großflächiger Bodenmelioration durch Beregnung.

Werden Böden melioriert, ohne daß man zuvor oder parallel dazu die Voraussetzungen für den Abtransport des salzbeladenen Wassers schafft, so ist mit einem dauerhaften Erfolg nicht zu rechnen. Vor allem im abflußlosen Talbereich wird die Salzkonzentration im GW, aber auch im Boden, schließlich ansteigen und die Produktivität zunehmend beeinträchtigen.

Schließlich stellen die sich stark ausbreitenden Phreatophyten durch ihren hohen Wasserverbrauch ein Problem für die Bewässerungswirtschaft dar. Die umfangreichen Bestände an Pappeln und Weiden entlang der Flüsse, Creeks und Kanäle sowie die neuerdings wachsende Zahl von Tamarisken sind unbedingt unter Kontrolle zu bringen. In Gebieten, wo der Wasserverbrauch durch diese Pflanzen kritische Ausmaße angenommen hat, sind Schritte zu ihrer Dezimierung oder Vernichtung zu unternehmen, wobei allerdings besonders darauf zu achten sein wird, daß nicht andere, resistenterere Arten nachfolgen.

Neben den Problemen, die im Bewässerungsfeldbau selbst auftreten, ist der Wirtschaftsraum auch mit schwierigen Wettbewerbs- und Absatzbedingungen konfrontiert.

Die Beckenlage, seine große Entfernung von den Absatzmärkten sowie das Fehlen von Industriebetrieben zur Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte stellen wesentliche Negativfaktoren dar. Die Hochgebirgspässe, über die sich fast der gesamte Verkehr abwickelt, sind während des Winterhalbjahres häufig durch Schneeverwehungen blockiert. Außerdem verursacht der für das S. L. V.

geltende Gebirgsfrachttarif höhere Transportkosten, die den landwirtschaftlichen Produzenten von vornherein gegenüber seiner Konkurrenz im Tiefland benachteiligen. Die große Entfernung von den bedeutenden Absatzgebieten schlägt sich ebenfalls in höheren Frachtkostenanteilen nieder. Hinzu kommt, daß der in den U. S. A. in stärkerem Maße als in Europa zu verzeichnenden Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten in konservierter Form in keiner Weise Rechnung getragen werden kann, da es verarbeitende Industrien bis heute nicht gibt. Trotz dieser Wettbewerbsnachteile konnten sich die Erzeugnisse aus dem S. L. V. aufgrund ihrer Qualität bislang gut behaupten.

Künftig wird aber das Fehlen verarbeitender Industrien die Weiterentwicklung der Bewässerungsoase zunehmend hemmen. Deshalb ist der Beseitigung auch dieses Ungünstfaktors erhöhte Bedeutung beizumessen, wobei es darauf ankommt, durch Investitionsanreize möglichst vielfältige verarbeitende Industrien für die Ansiedlung im Tal zu gewinnen; hiervon wären wichtige Wachstumsimpulse für den bewässerten Feldebau im Untersuchungsgebiet zu erwarten.

Literaturverzeichnis

- ACHTNICH, W.
1957 Eine Methode zur Berechnung des Wasserverbrauchs der Pflanzen mit Hilfe klimatologischer Daten.
In: Z. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 79, H. 2, S. 97-101
- 1957 Die Feststellung des Wasserbedarfs als Voraussetzung eines sinnvollen Einsatzes für Beregnung.
Perrot-Bibliothek, H. 3
- BAUMANN, H. et al.
1974 Wasserwirtschaft in Stichworten. Kiel
- BLANEY, H.F.
1955 Climate as an Index of Irrigation Needs.
In: The Yearbook of Agriculture, USDA
- & CRIDDLE, W.D.
1950 Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data. USDA Soil Cons. Service, SCS-TP-96
- 1962 Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements. USDA TP-1275
- , EWING, P.A., ISRAELSEN, O.W. et al.
1938 Water Utilisation. In: Regional Planning, Part VI - Upper Rio Grande: Part III, US Nat. Resources Comm., Washington, S. 293-428
- BITTINGER, M.W. & ENIX, C.
1963 Preliminary Estimate - Water Use by Phreatophytes on Selected Portions of the Rio Grande, Conejos and San Antonio Rivers. Colo. State Univ., Fort Collins
- BROUWER, W.
1959 Die Feldberegnung. Frankfurt
- BRYAN, K.
1938 Geology and Ground-Water Conditions of the Rio Grande Depression in Colorado and New Mexico. In: Regional Planning, Part VI, Upper Rio Grande, US Nat. Resources Comm., Washington, S. 197-225
- CANTOR, L.
1967 A World Geography of Irrigation. Edinburgh
- CARPENTER, L.G.
1891 Artesian Wells of Colorado and their Relation to Irrigation. In: Colo. Agr. Coll. Exp. Sta. Bull. 16, S. 17-27
- CODE, W.E.
1952 Underground Water Resources of Colorado. In: A Hundred Years of Irrigation in Colorado. Colo. Water Conserv. Board and Colo. Agr. Mech. Coll., S. 49-55

- Colorado Division of Water Resources, Division 3
Water Commissioner's Annual Reports 1973, 1974
- Colorado Land Use Commission
1974 Colorado Land Use Map Folio. Denver
- Colorado State University, Agricultural Extension Service
Leveled Land Data 1915-1975 (unveröff.)
- Colorado State University, Soil Testing Laboratory
1972 Crop and Soil Summary. Fort Collins (unveröff.)
- Council of Governments
1974 San Luis Valley Regional Comprehensive Plan. Alamosa
- DIXON, H.N.
1971 Flora of the San Luis Valley. In: San Luis Basin,
N. Mex. Geol. Soc., 22nd F. Conf., S.133-135
- DONNEEN, L.
1961 Irrigation Practice and Water Management. FAO, Rom
- EMERY, P.A.
1970 Electric Analog Model Evaluation of a Water-Salvage Plan
San Luis Valley, South-Central Colorado. USDI Geol.
Survey and Colo. Water Conserv. Board, Denver
- 1971 Water Resources of the San Luis Valley, Colorado.
In: San Luis Basin, N. Mex. Geol. Soc., 22nd F. Conf.,
S. 129-132
- , BOETTCHER, A.J., SNIPES, R.J. & McINTYRE, H.J., jr.
1971 Hydrology of the San Luis Valley, South-Central Colorado.
USDI Geol. Survey, Hydrol. Investig. Atlas HA-381
- , DUMEYER, J.N., McINTYRE, H.J., jr.
1969 Irrigation and Municipal Wells in the San Luis Valley,
Colorado. USDI Geol. Survey, Denver
- , SNIPES, R.J. & DUMEYER, J.M.
1972 Hydrologic Data for the San Luis Valley, Colorado.
USDA Soil Cons. Service, Colo. Water Cons. Board and
Colo. Div. of Water Resources, Colo. Water Resources
Basic Data Release No. 22
- , SNIPES, R.J., DUMEYER, J.N. & KLEIN, J.M.
1973 Water in the San Luis Valley, South-Central Colorado.
USDA Soil Cons. Service and Colo. Water Cons. Board,
Colo. Water Resources Circular 18
- FOLLET, W.W.
1898 A Study of Use of Water for Irrigation on the Rio Grande
del Norte. Senate Document No. 229, 55th Congress, 2nd
Session, Washington
- Folks and Fortunes of the San Luis Valley, Colorado
1949 Monte Vista
- FRANKLIN, W.T. & WHITNEY, R.S.
1959 Soil and Water Management Studies of Saline-Sodium Soils,
Mosca-Hooper Area, San Luis Valley. Colo. State Univ.
Agr. Exp. Sta., General Series Paper 711

FRANKLIN, W. T. & WHITNEY, R.S.

- 1961 Soil and Water Management Studies, Mosca-Hooper Area, San Luis Valley. Colo. State Univ. Agr. Exp. Sta., Gen. Ser. Paper 758

- 1973 Reclamation and Water Management Studies on Coarse-Textured Saline-Sodic Soils in the San Luis Valley of Colorado. Colo. Agr. Exp. Sta. Bull.

----, CODE, W.E. & REEVE, R.C.

- 1956 Reclamation of Saline-Alkali Lands in the Mosca-Hooper Area, San Luis Valley. Colo. Agr. Mech. College Agr. Exp. Sta., Gen. Ser. Paper 648

- 1957 Reclamation and Management of Saline-Sodium Soils, Mosca-Hooper Area, San Luis Valley. Colo. State Univ. Agr. Exp. Sta., Gen. Ser. Paper 667

GACA, J.R. & KARIG, D.E.

- 1966 Gravity Survey in the San Luis Valley Area, Colorado. USDI Geol. Survey Open File Rept.

GANSSSEN, R.

- 1968 Trockengebiete. Mannheim

GARBRECHT, G.

- 1973 Zur Frage des Bewässerungsbedarfs in warmen Ländern. In: Schriftenreihe des N.K.d. ICID i.d. BRD, H. 6, Symposium Bewässerungswirtschaft des Auslandes, S. 70-91

GARDNER, R. & CODE, W.E.

- 1951 Report on Saline Land Reclamation, Mosca-Hooper Area, San Luis Valley, Colorado. Colo. Agr. Mech. Coll. Agr. Exp. Sta., Gen. Ser. Paper 503

GRAČANIN, D.

- 1951 Verbreitung der Böden der Erde. In: West.Lex.d.Geogr., Bd. I, Braunschweig 1968

HAGEN, R.M., HAISE, H.R. & EDMINSTER, W., ed.

- 1967 Irrigation of Agricultural Lands. Am. Soc. of Agron. Monograph No. 11

HAMBURG, D.H. & SWICK, L.L., ed.

- 1973 Colorado Statutes Pertaining to Water Resources and Selected Water Cases. Div. of Water Resources, Denver

Irrigation in Colorado, A Hundred Years of ... (1852-1952)

- 1952 Colo. Water Conserv. Board and Colo. Agr. Mech. Coll., Denver

Irrigation Water Management Study of the San Luis Valley, Colo.

- 1969 USDA Soil Conserv. Service, for the Four Corners Regional Commission, Portland, Oregon

ISRAEISEN, O.W. & HANSEN, V.E.

- 1962/67 Irrigation Principles and Practices. New York

JANITZKI, P.

- 1957 Salz- und Alkaliböden und Wege zu ihrer Verbesserung.
Gießen

JENSEN, M.E., ROBB, D.C.N. & FRANZOY, C.E.

- 1970 Scheduling Irrigation Using Climatic-Crop-Soil Data.
Amer. Soc. Civ. Engin. Proc., Jour. Irrig. and Drain.
Div. 96 (IR-1). Paper 7134

JETTON, E.V. & KIRBY, J.W.

- 1970 A Study of Precipitation, Streamflow and Water Usage on
the Upper Rio Grande. Atmospheric Science Group, Coll.
of Engineering, Univ. of Texas, Report No. 25, Austin

JOHNSON, R.D.

- 1967 The Great Sand Dunes of Southern Colorado. In: USDI
Geol. Survey Prof. Paper 575-C, S. C 177-183

KELLER, R.

- 1950 Niederschlag, Abfluß und Verdunstung im Schweizer Hoch-
gebirge. In: Erdkunde, Bd. IV, H. 1/2, S. 55-67

--

- 1962 Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Leipzig

KRAMER, P. J.

- 1959 The Role of Water in the Physiology of Plants. In: Water
and its Relationship to Soils and Crops, S. 51-70,
New York/London

KREEB, K.

- 1964 Ökologische Grundlagen der Bewässerungskulturen in den
Subtropen. Stuttgart

KRUSE, E.G. & HAISE, H.R.

- 1974 Water Use by Native Grasses in High Altitude Colorado
Meadows. USDA Agr. Res. Service W-6

Kuratorium für Kulturbauwesen

- 1971 Fachwörterbuch für Bewässerung und Entwässerung. Stuttg.

LANGLEY, M.N. & ROBB, D.C.N.

- 1969 Irrigation Water Use Efficiency. USDI Bur. of Recl., Wash.

LONGACRE, L.L. & BLANEY, H.F.

- 1963 Evaporation at High Elevations in California. Amer. Soc.
Civ. Eng. Irrig. Drainage Div. Jour. 89 (2-1), S. 77-78

LÜKEN, H.

- 1971 Bodenversalzung. In: BLANKENBURG, P.von, et al.,
Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Ent-
wicklungsländern, Bd. 2, Stuttgart

MATHIAS, D.H.

- 1957 Conditions of Irrigated Sections of the Rio Grande in
Colorado. Problems of the Upper Rio Grande, An Arid Zone
River, Publication No. 1, US Comm. for Arid Resource
Improvement and Development, State Engineer Office,
Santa Fe, N.M.

McLAUGHLIN, T.G.

- 1956 Ground-Water in Colorado and the Status of Investigations.
USDI Geol. Survey Ground-Water Ser. Circular 4, Denver

MEINZER, O.E.

- 1927 Plants as Indicators of Ground-Water. USDI Geol. Survey,
Water-Supply Paper 577

MILTHORPE, F.L.

- 1960 The Income and Loss of Water in Arid and Semi-Arid Zones.
In: Plant-Water Relationships in Arid and Semi-Arid
Conditions. Arid Zone Research 15, UNESCO Paris

MOLTER, T.

- 1966 Wasserhaushalt und Bewässerungsfeldbau im Kapland.
Geogr. u. histor. Grundlagen unter Berücksichtigung der
Boden- und Vegetationszerstörung. Kölner Geogr. Arbeiten,
Sonderfolge Beiträge z. Länderkunde Afrikas, H. 3

MOORE, F.D. & SOLTANPOUR, P.N.

- 1972 Evaporation of Head Lettuce - An Estimate for June
Plantings in the San Luis Valley. Colo. State Univ. Exp.
Sta. Tech. Bull. 113

PENMAN, H.L.

- 1948 Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass.
Proc. Roy. Soc., London, 193 A, S. 120-145

POLAND, J.F. & DAVIS, G.H.

- 1969 Land Subsidence Due to Withdrawal of Fluids. In: Review
in Engin. Geology, Vol. II, S. 187-269, The Geol. Soc.
of America

-- & GREEN, J.H.

- 1962 Subsidence in the Santa Clara Valley, California.
USDI Geol. Survey Water-Supply Paper 1619-C

POWELL, W.J.

- 1958 Ground-Water Resources of the San Luis Valley, Colorado.
USDI Geol. Survey Water-Supply Paper 1379

REEVE, R.C., ALLISON, L.E. & PETERSON, D.F., jr.

- 1948 Reclamation of Saline-Alkaline Soils by Leaching, Delta
Area, Utah. Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 336, Logan

RICHARDS, L.A.

- 1954 Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.
In: USDA Agr. Handb. No. 60, S. 69-82

Rio Grande Compact Commission

- 1970 Report to the Governors of Colorado, New Mexico and Texas.

Rio Grande Joint Investigation in the Upper Rio Grande Basin in
Colorado, New Mexico and Texas 1936-1937

- 1938 Regional Planning, Part VI, Nat. Resources Comm., Wash.

Rio Grande Water Conservation District

Data of Area Irrigated by Center Pivot Sprinklers (unveröff.)

ROBINSON, F.E.

- 1968 Improving Soil Salt Removal with Sprinklers. Sprinkler
Irrigation Association, Annual Tech. Conf. Proc., Denver

ROBINSON, T.W.

- 1958 Phreatophytes. USDI Geol. Survey Water-Supply Paper 1423

-- & WAITE, H.A.

- 1938 Ground-Water in the San Luis Valley, Colorado.
In: Regional Planning, Part VI, Upper Rio Grande, US Nat.
Resources Comm., S. 226-267

San Luis Valley Potato Administrative Committee
Potato Statistics (unveröff.)

SCHREIBER, D.

- 1969 Aspekte bei der Verwendung klimatischer Humiditätsstufen
in Gebirgen. In: La Météorologie V-10-11, S. 65-73

--

- 1971 Höhenkorrigierte Trockenheitsgrenzen und Gebietsver-
dunstung in den Schweizer Alpen. In: Annalen der Meteor-
ologie, Neue Folge, Nr. 5, S. 123-125

SCHOELLER, H.

- 1959 Arid-Zone Hydrology. Recent Developments, Arid-Zone
Research 12

SCHROEDER, G.

- 1968 Landwirtschaftlicher Wasserbau. Berlin/Heidelberg/New York

SCHWARZ, K.

- 1970 Technik und Technologie der Beregnung. Berlin

SIEBENTHAL, C.E.

- 1910 Geology and Water Resources of the San Luis Valley, Colo.
USDI Geol. Survey Water-Supply Paper 240

SMITH, J.B.

- 1956 Irrigation Methods. Internat'l Irrigation Practices
Seminar. Izmir, Türkei (vervielf.)

SONNTAG, L.C., CODE, W.E., WHITNEY, R.S. & FIREMAN, M.

- 1953 Irrigation, Drainage, Soil Amendment Studies, Mosca-Hooper
Area, San Luis Valley. Colo. Agr. Mech. Coll. Exp. Sta.
and Ext. Service, Gen. Ser. Paper 559

- 1954 Irrigation Drainage, Soil Amendment Studies, Mosca-Hooper
Area, San Luis Valley. Colo. Agr. Mech. Coll. Exp. Sta.
and Ext. Service, Gen. Ser. Paper 609

--, GARDNER, R. & FIREMAN, M.

- 1952 Irrigation, Drainage, Soil Amendment Studies, Mosca-Hooper
Area, San Luis Valley. Colo. Agr. Mech. Coll. Exp. Sta.
and Ext. Service, Gen. Ser. Paper 529

SPÄTH, H.J.

- 1972 Hydrologische Probleme des Bewässerungsfeldbaus in der
Colorado-Wüste, Kalifornien. Diss. Freiburg

STRÄSSER, M.

1969 Die Bewässerungslandschaft der Wasatch Oase in Utah.
Habilschrift. Veröff.: Freiburger Geogr. Arb., Bd. 4, 1972

The Report of the President's Water Resources Commission

o.J. The Rio Grande. Ten Rivers in America's Future, Vol. II, No. 4

THOMAS, H.E.

1963 Effects of Drought in the Rio Grande Basin. USDI Geol.
Survey Prof. Paper No. 372-D, Washington

THORNBURY, W.D.

1965 Regional Geomorphology of the U. S. New York/ London

THORNE, D.W. & PETERSON, H.B.

1954 Irrigated Soils. Toronto.

THORNTHWAITE, C.W.

1931 The Climates of North America According to a New Classi-
fication. In: Geogr. Review, Vol. 21, S. 633-655

-- & MATHER, J.R.

1955 The Water Balance. Drexel Institute of Technology,
Publications in Climatology, Vol. VIII, No. 1

TIPTON, R.J.

1939 San Luis Valley Project, Wagon Wheel Gap Reservoir,
Platoro Reservoir, Mogote Reservoir, Closed Basin Drain.
Colo. Water Cons. Board, Vol. I

TRIERWEILER, J.F. & WHITNEY, R.S.

1963 Soil and Water Management of Coarse-Textured Saline-Sodium
Soils, Mosca-Hooper Exp. Area 1961-62. Colo. State Univ.
Agr. Exp. Sta., Progress Report 105, Fort Collins

TURC, L.

1954 Le bilan d'eau des sols: Relation entre les précipitations,
l'évaporation et l'écoulement. Thèse, Paris 1953.
Veröff.: Sols africains 3

TURNER, K.M. & CHRISTIANSEN, J.E.

1962 Evaporation at High Elevations in California. In: Amer.
Soc. Civil Engin. Irr. Drainage Div. Jour. 88 (4-1), S. 65-67

USDA Agricultural Information Bull. No. 283

-- Census of Agriculture 1929-69

--
1953 Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.
Agriculture Handbook No. 60

-- Soil Conservation Service

o.J. S.L.V. General Soil Survey, Description of Soils. Alamosa
(unveröff.)

1964 Sprinkler Irrigation. N'tl Engin. Handb., Section 15
Irrigation, Chapter 1, Washington

Planning Farm Irrigation Systems. N'tl Engin. Handb.,
Section 15, Irrigation Chapter 3, Washington

USDA Soil Conservation Service

1967 Irrigation Water Requirements. Engin. Div., Tech. Release
No. 21, Washington

1968 Sprinkler Irrigation. N'tl Engin. Handb., Section 15
Irrigation, Chapter 11, Revised Ed., Washington

1972 General Soil Maps 1:126 720 for Alamosa, Conejos, Costilla,
Rio Grande and Saguache Counties, Colorado, M 7-E-22275

1972 Project Plan for the San Luis Valley, Colorado

1973 Land Use Maps 1:126 720 for Alamosa, Conejos, Costilla,
Rio Grande and Saguache Counties, M 7-E-22575

USDA Colorado Crop and Livestock Reporting Service
Colorado Annual Agricultural Statistics

-- Weather Bureau

Climatic Summary of the US, Section 22 + 24 - Western and
Southeastern Colorado, Climatic Data from the Establish-
ment of Stations to 1930, incl., Washington

-- & Colorado Agricultural Experiment Station

1973 Soil Survey of Alamosa Area, Colorado

USDC Bureau of the Census, Census of Population 1970

-- Environmental Science Services Administration, Environmental
Data Service - N'tl Climatic Service

Climatological Data, Colorado, Annual Summaries 1961-73

-- Weather Bureau

Climatic Summary of the US, Supplement for 1931 through
1952 and 1951-60 - Colorado, Climatography of the US No.11-5

-- & US Dept. of the Airforce, Air Weather Service, Directorate
of Climatology, Data Control Division

Wind and Blowing Dust or Sand Data for Alamosa, Colorado,
WBO 1950-54, Ashville

USDI Bureau of Reclamation

1963 Plan for Development of Closed Basin Division, San Luis
Valley Project, Colorado. USBR, Region 5, Project Plan,
Rept., Amarillo, Texas

1974 Water for Tomorrow. Colo. State Water Plan, Phase I -
Appraisal Report

USDI Geological Survey

Top. Maps 1:250 000 Western US, NJ 13-4,5,7,8,10,11

Water Resources Data for Colorado, Part I, Surface Water
Records

USDI Geological Survey

Water Resources Data for Colorado, Part II, Water
Quality Records

WALKER, J.

- 1961 Saline-Sodium Soil Reclamation and Management in the
San Luis Valley, Colo. State Univ. Agr. Exp. Sta.,
Project 13

WALTER, H.

- 1955 Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klima-
verhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und
landwirtschaftliche Zwecke. In: Ber. d. Dt. Bot. Ges. 68,
S. 331-344

Water Resources of the Upper Rio Grande Basin

- 1970 Civil Engineering Dept., Univ. of Texas, El Paso, For
the Texas Water Rights Commission, Austin

WEHMEIER, E.

- 1974 Die Bewässerungsoase Phoenix, Arizona. Diss. Freiburg

WEST, S.W. & BROADHURST, W.L.

- 1973 The Role of Water in Resource Planning in the Rio Grande
Region. USDI Geol. Survey, Albuquerque, N.M.

WHITE, G.F.

- 1964 Wasser für die Wüsten. Weltweite Kultivierung der Trocken-
zonen. Schriftenreihe der dt. UNESCO-Kommission, Düssel'd'f

WHITE, W.N.

- 1916 The San Luis Valley, Colorado. Irrigation from Artesian
Wells and General Irrigation and Drainage Problems
Involved in Land Classification. USDI Geol. Survey,
Denver, Ms. Copy in Open File

-- & THEIS, C.V.

- 1940 Proposed Ground-Water Investigations in the San Luis
Valley

WILCOX, L.V.

- 1948 The Quality of Water for Irrigation Use. USDA Tech.
Bull. 962

-- & RESCH, W.F.

- 1963 Salt Balance and Leaching Requirement in Irrigated
Lands. USDA Agr. Research Serv. Tech. Bull. No. 1290,
Washington

WILSON, D.D.

- 1971 Early Man in the San Luis Valley. In: San Luis Basin,
N.Mex. Geol. Soc., 22nd F. Conf., S. 203-207

WOODWARD-CLYDE-SHERARD & Associates

- 1967 Geo-Hydrologic Study of the Closed Basin, San Luis
Valley, Colorado. Denver

- 1967 Evaluation Report on Closed Basin Division, San Luis
Valley Project, Colorado. Denver

WOLFF, P.

1973 Zur Weiterentwicklung der BLANEY & CRIDDLE-Formel.
In: Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 14,
S. 236-246

ZIMMERMANN, J.

1966 Irrigation. New York/London

Mündliche und schriftliche Mitteilungen

Bureau of Reclamation, Denver

Colorado Crop and Livestock Reporting Service, Denver

Colorado Division of Water Resources, Denver

Colorado State University Experiment Station, Center

Colorado State University Agricultural Extension Service, Alamosa

Geological Survey, Denver

Resource Conservation & Development, Monte Vista

Rio Grande Water Conservation District, Alamosa

S. L. V. Irrigation District, Alamosa

S. L. V. Potato Administrative Committee, Monte Vista

Soil Conservation Service, Denver/Alamosa

Mr. W.H. Sweet, Bureau of Reclamation, Monte Vista

Nachtrag zum Literaturverzeichnis

FLIRI, F.

1972 Statistik und Diagramm. Braunschweig

Anhang

Tab. 1 Die Bewertung der Wasserqualität aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit
(L 1 - L 5) und des Natriumanteils (N 1 - N 4)

L 1	0-250 <u>Micromhos</u> cm	Geringe Salinität, Wasser für alle Kulturen verwendbar ohne Versalzungsgefahr	N 1	Geringer Na ⁺ -Gehalt, keine Gefahr für Boden und Pflanze
L 2	250-750 <u>Micromhos</u> cm	Mäßige Salinität, unbrauchbar bei sehr salzempfindlichen Kulturpflanzen	N 2	Mäßiger Na ⁺ -Gehalt, ungünstig bei Böden mit hohem Tongehalt
L 3	750-2250 <u>Micromhos</u> cm	Mäßige bis starke Salinität, nur bei gut durchlässigen Böden verwendbar und bei salztoleranten Kulturpflanzen	N 3	Starker Na ⁺ -Gehalt, in Böden ohne genügend CaSO ₄ entsteht schädliche Alkalität, bodenverbessernde Maßnahmen notwendig
L 4	2250-4000 <u>Micromhos</u> cm	Starke Salinität, nur bei gleichzeitig wirksamer Drainage und sehr salztoleranten Kulturpflanzen verwendbar	N 4	Sehr starker Na ⁺ -Gehalt, für Bewässerung unbrauchbar
L 5	4000-6000 <u>Micromhos</u> cm	Sehr starke Salinität, nur noch unter ganz bestimmten Voraussetzungen, z. B. bei guter Drainage, guter Bodendurchlässigkeit und sehr salztoleranten Kulturen verwendbar		

Tab. 2 Die durchschnittliche jährliche Wasserbilanz des San Luis Valley 1924 - 69

Wasserzufuhr	in Mio. m ³	Wasserausfuhr	in Mio. m ³
Niederschläge	1,5045	Evapotranspiration	2,9840
Oberflächenzufluß	1,9480	Oberflächenabfluß	0,4069
80 % von d. Westseite		Grundwasserabfluß	0,0616
20 % von d. Ostseite			
Gesamt	3,4525	Gesamt	3,4525

Nach EMERY et al. 1973, S. 4, Abb. 1

Tab. 3 Die wichtigsten Bewässerungskanäle
im San Luis Valley

Länge
in km

Monte Vista Canal	54
Farmers' Union Canal	44
San Luis Canal	43
Prairie Ditch	42
Empire Canal	40
Rio Grande Canal	30
Costilla Canal	24

Daten des S. L. V. Irrigation District,
Alamosa

Tab. 4 Sickerverluste im Farmers' Union Canal am 24. 7. 1968

Kanalkilometer	Wasserdurchfluß m ³ /sec.	Zufluß m ³ /sec.	Entnahme m ³ /sec.	Sickerverluste m ³ /sec.
0	6,14	-	-	-
4,8	6,14	-	-	-
8,2	5,86	-	-	0,28
12,7	5,20	-	-	0,66
15,4	-	-	2,61	-
15,7	2,46	-	-	0,13
19,5	-	-	0,03	-
21,6	-	-	1,08	-
21,7	1,17	-	-	0,18
23,3	-	-	0,03	-
24,2	-	-	0,003	-
25,3	-	-	0,003	-
25,6	-	-	0,003	-
25,9	1,03	-	-	0,10
29,7	0,86	-	-	0,17
30,4	-	0,01	-	-
32,8	-	-	0,02	-
35,4	0,77	-	-	0,07
40,2	-	-	0,06	-
40,4	0,54	-	-	0,17
43,0	0,31	-	-	0,23
			gesamt	1,99

Nach EMERY et al. 1972, S. 145, Tab. 9

Tab. 5 Sickerverluste im Bountiful Canal am 18. 7. 1972

Kanalkilometer	Wasserdurchfluß in m ³ /sec.	Sickerverluste in m ³ /sec.
0	0,33	-
1,6	0,29	0,04
3,2	0,25	0,04
4,8	0,19	0,06
6,2	0,14	0,05
8,0	0,03	0,11
	gesamt	0,30

Nach unveröffentlichten Daten des R. C. & D., Monte Vista,
San Luis Valley

Tab. 6 Die wichtigsten Stauseen im San Luis Valley und ihre Speicherkapazität

	Baujahr	Kapazität (in Mio. m ³)
Sanchez	1911	127,19
Platoro	1951	73,98
Santa Maria	1913	55,57
Mountain Home	1913	22,92
Terrace	1912	21,25
La Jara	1910	17,32
Eastdale (1+2)	1910	8,08
Smith	1914	6,97
Beaver Park	1912	5,47

Nach Annual Report 1974, Division of Water Resources,
S. L. V., Division III, Colorado

Tab. 7 Die Erträge der wichtigsten Feldfrüchte
im San Luis Valley 1950 - 73 (in dz/ha)

	Weizen (Sommer-)	Kartoffeln	Gerste	Hafer
1950	14,2	206	15,2	11,0
51	12,0	179	8,6	8,7
52	18,8	268	19,0	12,0
53	19,0	222	16,8	12,4
54	13,4	218	16,6	10,7
55	16,7	184	17,4	11,4
56	14,7	206	13,3	10,2
57	20,4	221	20,2	13,5
58	20,8	265	19,8	13,8
59	20,8	235	22,7	13,8
1960	22,0	240	23,2	13,6
61	20,4	257	23,6	14,3
62	26,2	241	25,9	15,8
63	22,0	263	24,2	14,3
64	20,7	218	24,0	14,0
65	22,2	277	28,0	15,8
66	23,1	311	28,6	15,0
67	21,8	308	28,4	15,9
68	22,1	255	25,6	16,2
69	19,0	261	27,7	15,0
1970	26,0	306	29,1	16,3
71	28,2	262	28,0	16,9
72	35,6	286	25,8	16,1
73	24,7	302	28,0	16,4

Nach Daten des Colorado Stock and Livestock Reporting
Service, Denver 1950 - 73

Tab. 8 Die Anbaufläche der wichtigsten Feldfrüchte im San Luis Valley
1949 - 73 (in ha)

	Weizen	Kartoffeln	Gerste	Hafer	Alfalfa
49	6 913	12 810	23 340	13 850	28 290
1950	4 905	13 040	16 190	12 350	28 640
51	6 860	11 990	13 650	10 540	25 920
52	4 900	13 240	16 510	16 610	28 730
53	4 720	14 300	17 090	14 950	36 290
54	3 130	14 700	18 200	11 270	31 890
55	3 100	13 870	18 620	11 720	33 800
56	2 440	14 290	17 080	11 130	40 750
57	2 300	15 270	19 070	15 620	45 410
58	2 670	16 180	15 060	13 880	51 400
59	1 750	15 020	14 120	11 020	46 950
1960	1 300	15 740	15 560	11 250	48 710
61	1 500	16 590	17 850	8 500	49 780
62	1 170	16 590	24 280	7 690	43 710
63	1 380	14 570	25 290	6 270	46 540
64	890	13 360	24 490	6 770	46 540
65	400	14 160	26 710	8 500	38 450
66	610	12 340	30 760	6 070	41 680
67	460	13 600	30 760	5 870	38 850
68	440	13 960	32 380	6 880	41 680
69	400	14 970	34 800	7 080	42 490
1970	970	14 970	33 590	4 050	36 420
71	1 210	12 910	35 210	2 830	39 660
72	1 420	12 550	36 420	3 040	44 110
73	1 820	12 340	33 990	6 350	46 140

Daten des Colorado Stock and Livestock Reporting Service, Denver
1949 - 73

Tab. 9 Anteil der Kartoffelsorten
an der Gesamternte (in %)

Jahr	McClure	Russet	andere
1965	56	39	5
1968	47	50	3
1972	21	75	4

Unveröffentlichte Daten des S. L. V.
Potato Administrative Committee,
Monte Vista

Tab. 10 Die Salztoleranz verschiedener Kulturpflanzen

Elektrische Leitfähigkeit in Millimhos/cm
(Sättigungsextrakt)

8 - 16	4 - 8	2 - 4
Gerste	Hafer	Klee
Roggen	Sorghum	Rettich
Weizen	Alfalfa	Sellerie
Zuckerrübe	Tomaten	Bohnen
Futterrübe	Karotten	Grüne Bohnen
	Salat	
	Kohl	
	Kartoffel	

Anmerkung: Bei den angegebenen Leitfähigkeitswerten muß mit einer Ertragseinbuße von ca. 50 % gerechnet werden.

Nach THORNE & PETERSON 1954 und KREBB 1964

Tab. 11 Die Entfernung des San Luis Valley von wichtigen Absatzmärkten

	Einwohner	Entfernung in km
Chikago	6 978 947	2 088
Los Angeles	7 032 075	1 509
Phoenix	967 522	959
Dallas	1 555 950	930
Denver	1 227 529	352
Albuquerque	315 774	341
Colorado Springs	235 972	265
Pueblo	118 238	201

Nach S. L. V. Council of Governments 1974, Vol. I, S. 54, Tab. 10

Tab. 12 Die Klassifizierung der Salzböden und ihre Charakteristika

Deutsche Bezeichnung	U. S. Salinity Laboratory	Charakteristika	Bemerkungen
Neutral- salzboden	saline soil	L > 4 pH < 8,5	kulturfähig bis L = 18 und pH-Maximum = 8
Salz- Alkaliboden	saline - alkali soil	L > 4 E > 15 pH > 8,5	nicht kulturfähig
Alkali- boden	nonsaline alkali soil	L < 4 E > 15 pH = 8,5-10	nicht kulturfähig
Degradierter Alkali- boden	degraded alkali soil	pH > 7	nicht kulturfähig

L = Elektrische Leitfähigkeit des Bodenauszuges in Millimhos/cm;

E = Umtauschbares Natrium in % der gesamten Kationenaustauschkapazität

Nach KREEB 1964, S. 100, Tab. 18

Tab. 13 Die wichtigsten Dränagesysteme im San Luis Valley

	Entwässertes Areal (ha)	Länge der Dräne	
		offen (km)	unterirdisch (km)
Rio Grande Drainage District	16 415	107	-
San Luis Valley Irr. District	10 116	97	-
Carmel Drainage District	8 601	27	32
La Garita-Carnero Irr. District	6 071	19	-
Norton Drainage District	5 868	36	90
Morgan Drainage District	5 828	22	37
Waverly Seepage Ditch	4 856	27	58
Bowen Drainage District	4 654	34	6
San Luis Drainage District #1	4 144	21	16
Parma Drain	1 619	77	8
Hallam Drain	907	11	7

Nach Irrigation Water Management Study 1969 (reprinted 1974), S. 52,
Tab. 4 sowie unveröffentl. Daten des S. L. V. Irrigation District,
Alamosa.

Mittlere Monats- temperatur (t) in °F	Anteil der Tagesstunden- jahressumme in %	Monats- klima- faktor (f)	Durchschnittl. monatliche Niederschläge (r) in inches	Durchschnittl. effektive Niederschläge (r _e) in inches
J 17,4	6,90	1,20	0,26	0,25
F 23,5	6,81	1,60	0,17	0,16
M 32,1	8,34	2,68	0,26	0,25
A 41,4	8,88	3,68	0,49	0,66
M 50,8	9,89	5,02	0,73	0,69
J 60,0	9,92	6,00	0,49	0,47
J 64,9	10,07	6,54	1,07	1,02
A 63,0	9,45	5,95	0,98	0,93
S 55,7	8,37	4,66	0,77	0,73
O 44,4	7,82	3,47	0,60	0,57
N 29,5	6,85	2,02	0,29	0,28
D 19,2	6,70	1,29	0,25	0,24

Nach Klimadaten des U. S. Weather Bureau 1972

Die monatlichen Temperaturen, Niederschläge und Klimafaktoren für
Del Norte, San Luis Valley

	Mittlere Monats- temperatur (t) in °F	Anteil der Tagesstunden- jahressumme in %	Monats- klima- faktor (f)	Durchschnittl. monatliche Niederschläge (r) in inches	Durchschnittl. effektive Niederschläge (r) in inches
J	20,8	6,90	1,43	0,46	0,44
F	25,8	6,81	1,76	0,29	0,28
M	33,6	8,34	2,80	0,50	0,48
A	42,7	8,88	3,79	0,77	0,73
M	51,4	9,89	5,08	0,87	0,82
J	59,6	9,92	5,91	0,59	0,56
J	63,6	10,07	6,40	1,19	1,13
A	62,2	9,45	5,88	1,57	1,49
S	56,3	8,37	4,71	0,88	0,84
O	46,5	7,82	3,64	0,82	0,78
N	33,1	6,85	2,27	0,37	0,35
D	23,7	6,70	1,59	0,34	0,32

Nach Klimadaten des U. S. Weather Bureau 1972

Tab. 16 Der ursprüngliche Evapotranspirations-
koeffizient (K) für ausgewählte Produkte

Anbauprodukt	K
Alfalfa	0,80 - 0,90
Getreide	0,75 - 0,85
Kartoffeln	0,65 - 0,75
Gemüse	0,60 - 0,70
Bohnen	0,60 - 0,70

Anmerkung: Niedrige Werte für weniger aride Gebiete,
höhere Werte für Zonen mit ausgeprägter Aridität.

Nach BLANEY & CRIDDLE 1950 und 1962

Tab. 17 Die Relation zwischen tatsächlichen und effektiven¹⁾
monatlichen Niederschlägen

Tatsächliche monatl.		Als effektiv erachtete monatliche Niederschläge			
Niederschläge		Anteil an jedem hinzukommenden		Gesamtmenge	
inch	(mm)	inch	(mm)	inch	(mm)
1	(25,4)	0,95	(24,1)	0,95	(24,1)
2	(50,8)	0,90	(22,9)	1,85	(47,0)
3	(76,2)	0,82	(20,8)	2,67	(67,8)
4	(101,6)	0,65	(16,5)	3,32	(84,3)
5	(127,0)	0,45	(11,4)	3,77	(95,8)
6	(152,4)	0,25	(6,4)	4,02	(102,1)
üb. 6	(üb. 152,4)	0,05	(1,3)	-	-

¹⁾Hier im Sinne von 'der Pflanze zur Verfügung stehend'.

Nach BLANEY & CRIDDLE 1962, S. 13, Tab. 3

Tab. 18 Die Auswirkungen der zum Salzauswaschen verwendeten Wassermenge sowie der Gipsgaben zur Bodenverbesserung auf die Erträge von Gerste und Klee

Bodenzusätze t/ha	Zum Salzauswaschen verwendete Wassermenge (in mm)	Gerste-Erträge in dz/ha	Klee-Erträge in dz/ha ofengetrocknet
-	-	7,53	-
-	304	12,91	61,6
-	762	23,13	-
Gips 2,24	304	23,13	64,4
" 4,48	762	26,90	-
" 8,96	304	29,05	59,5

Nach SONNNTAG et al. 1953, S. 13, Tab. 1

Tab. 19 Der Flurabstand des Grundwassers¹ auf der Mosca - Hooper Versuchsfarm
in den Jahren 1956 - 58

	Felder mit Dränage		Felder mit Unterflurbewässerung (ohne Dränage)	
	15. Mai	1. Okt.	15. Mai	1. Okt.
	Ø			
	Flurabstand des Grundwassers in m			
1956	2,4	3,2	1,4	1,9
				1,6
1957	3,0	2,2	1,4	0,6
				1,0
1958	2,0	2,5	0,9	0,9
				0,9

¹) Messungen nach längerer Betriebsdauer der Motorpumpe

Nach FRANKLIN & WHITNEY 1959, S. 5, Tab. 1

Tab. 20 Der Flurabstand des Grundwassers auf der Mosca - Hooper Versuchsfarm und Anzahl der oberirdischen Wassergaben für die Jahre 1959 - 60

	Flurabstand des Grundwassers (in m)	Oberirdische Wassergaben (à je 100 mm)	
	15. Mai	1. Sept.	Gunbarrel-Sand San Luis-Lehm
1959	1,13	1,68	2 -
1960	1,50	1,71	5 5

Nach FRANKLIN & WHITNEY 1961, S. 8, Tab. 3

Tab. 21 Die Auswirkungen verschiedener Meliorationsmaßnahmen auf die Alfalfa-Erträge im Bereich der lehmigen Sande der Gunbarrel-Serie 1959 - 60

Bodenbearbeitungs- methode und -tiefe bei der Melioration (1956)		Alfalfa-Erträge in t/ha (Trockengewicht)			
		ohne		mit	
		Gips zur Bodenverbesserung (0,4 t pro ha)			
		1959	1960	1959	1960
Pflügen	15 cm	7,19	9,05	4,50	7,82
Pflügen	90 cm	9,48	10,42	17,72	10,08
Untergrund- lockerung	90 cm	9,34	10,77	9,09	10,19

Nach FRANKLIN & WHITNEY 1961, S. 9, Tab. 4a

Tab. 22 Die Auswirkungen verschiedener Meliorationsmaßnahmen auf die Alfalfa-Erträge
im Bereich der sandigen Lehme der San Luis - Serie 1959 - 60

Bodenbearbeitungs- methode und -tiefe bei der Melioration (1956)	Alfalfa-Erträge in t/ha (Trockengewicht)							
	einheitlich strukturierter Unterboden				Sand - Kieseinschlüsse im Unterboden			
	ohne Gipsgaben mit		ohne Gipsgaben mit		ohne Gipsgaben mit		ohne Gipsgaben mit	
	1959	1960	1959	1960	1959	1960	1959	1960
Pflügen 15 cm	8,33	9,90	9,05	9,79	6,27	4,52	7,19	7,26
Pflügen 90 cm	9,81	10,35	10,00	9,79	7,06	7,35	8,27	8,80
Untergrund- lockerung 90 cm	9,43	9,70	9,21	9,97	8,11	8,20	8,15	8,09

Nach FRANKLIN & WHITNEY 1961, S. 9, Tab. 4b

Tab. 23 Die Auswirkung verschiedener Düngergaben auf die Gerste-
Erträge auf Feldern mit Dränage (niedriger GW - Stand) 1962

Düngergaben (Stickstoff und Phosphor) in kg/ha	Gerste-Erträge in dz/ha	
	Anzahl der Wassergaben (6)	Durchschnitt (4)
-	30,6	26,8
56 N	37,2	39,6
112 N	45,7	31,4
56 N + 56 P ₂ O ₅	40,5	38,4
112 N + 56 P ₂ O ₅	41,6	43,8
Durchschnitt	39,1	36,0
		37,6

Nach TRIERWEILER & WHITNEY 1963, S. 1, Tab. 2a

Tab. 24 Die Auswirkung verschiedener Düngergaben auf die Gerste-
Erträge auf unterflurbewässerten Feldern mit zusätzlicher
Oberflächenbewässerung 1962

Düngergaben (Stickstoff und Phosphor) in kg/ha	Gerste-Erträge in dz/ha	
	Anzahl der Wassergaben (4)	(2) Durchschnitt
- -	32,4	39,0 35,7
56 N	40,9	38,3 39,6
112 N	49,0	44,7 46,9
56 N + 56 P ₂ O ₅	46,0	39,2 42,6
112 N + 56 P ₂ O ₅	48,6	43,3 46,0
Durchschnitt	43,4	40,9 42,2

Nach TRIERWEILER & WHITNEY 1963, S. 1, Tab. 2b

- 1 ungespannter Grundwasserleiter
- 2 gespannter Grundwasserleiter
- 3 Tonhorizonte
- 4 vulkanisches Gestein
- 5 Kristallin

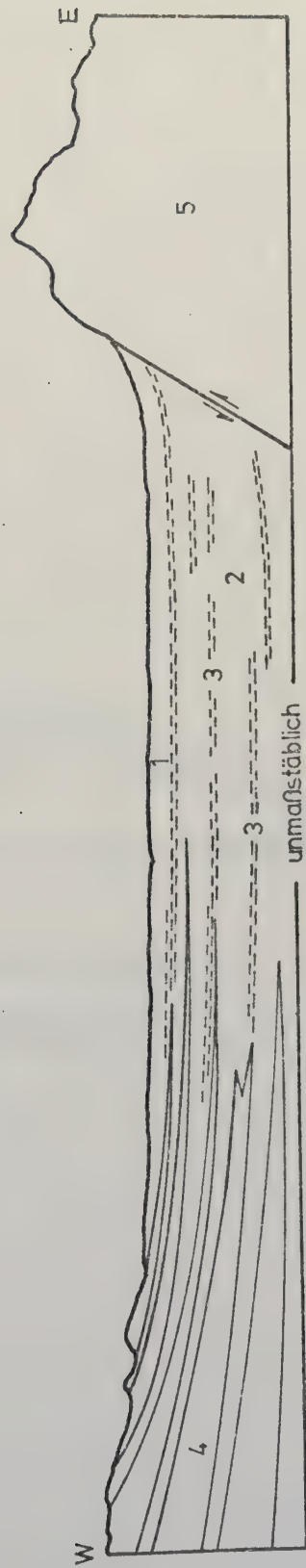


Abb.1 Geohydrologisches Profil durch das San Luis Valley

Nach EMERY et al. 1971, Sheet 1

ALAMOSA (2297m)

[34-83]

5,5° 167

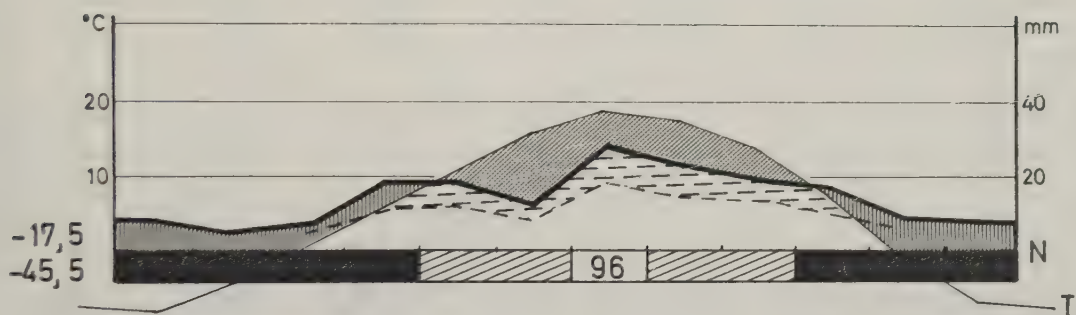


Abb. 2 Klimagramm von Alamosa, Colorado

Nach Daten des US Dept. of Commerce, Ntl. Climatic Service, Data for Alamosa (Temperatur 1940 - 73, Niederschläge 1891 - 1973)

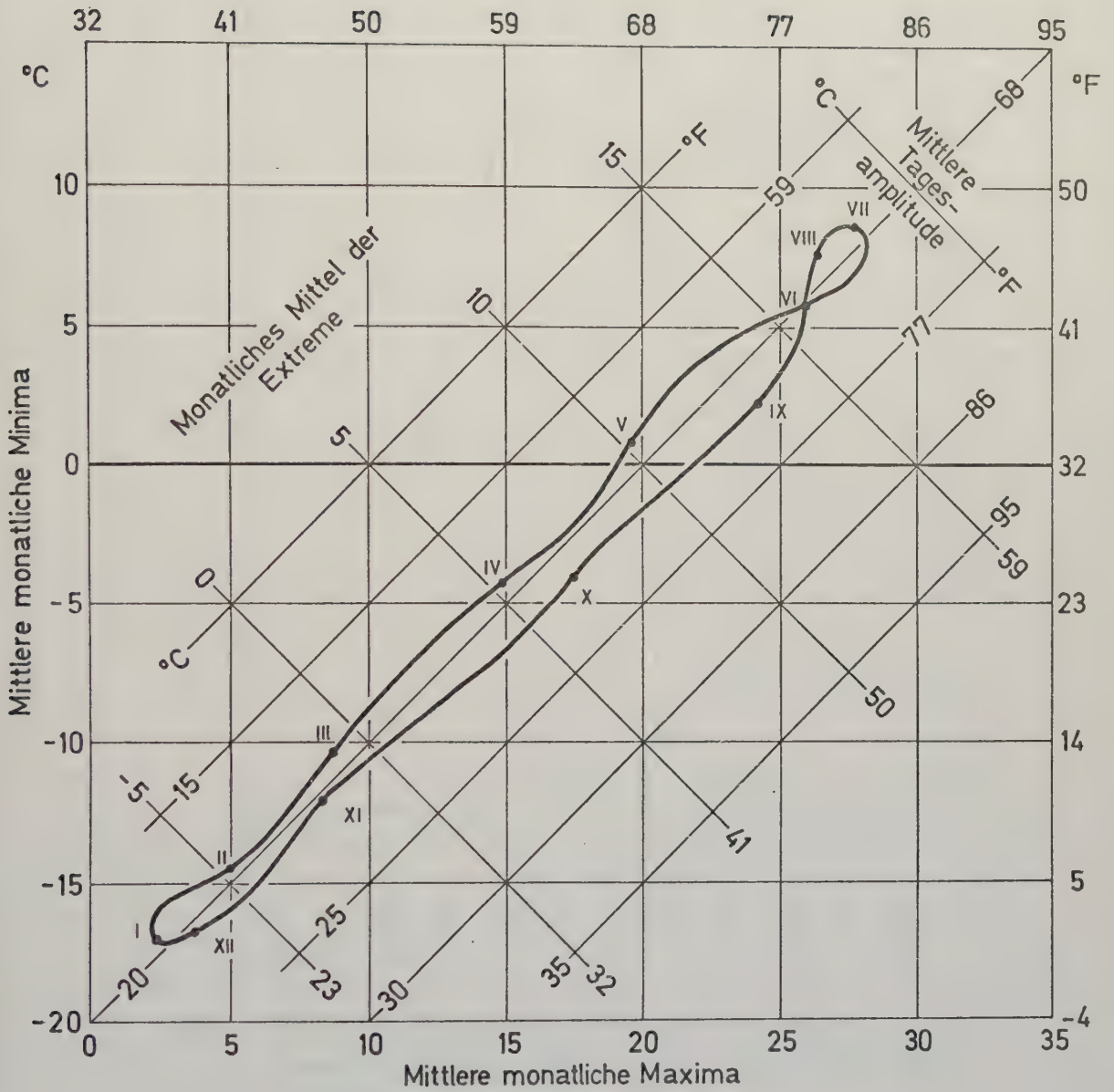


Abb. 3 Jahresgang der Temperatur im San Luis Valley (Alamosa)

Nach Daten des US Weather Bureau für Alamosa WB AP 1934-62

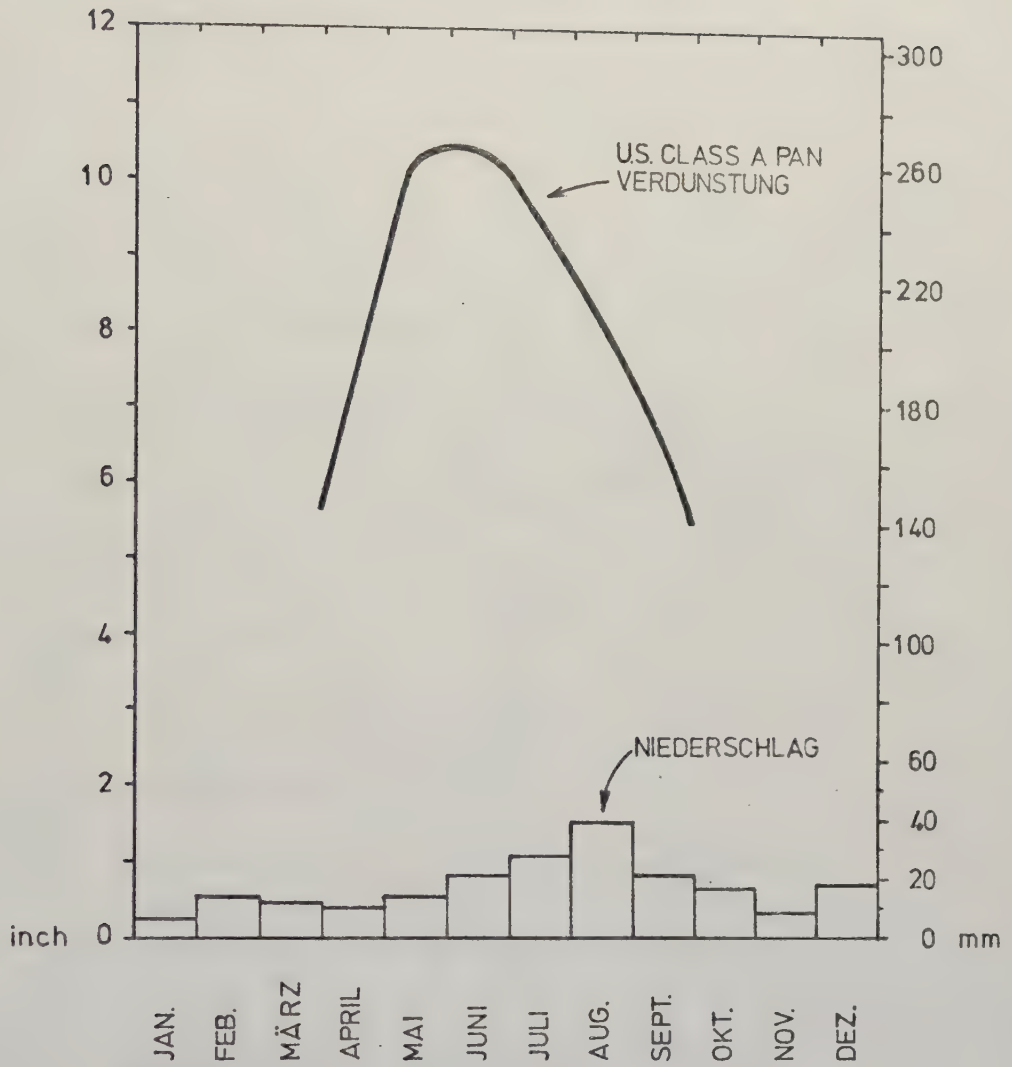


Abb. 4 Potentielle Evaporation (US Weather Bureau Standard Class A Pan) und mittlere monatliche Niederschläge in Alamosa 1961-67

Nach EMERY et al. 1971, Sheet 1

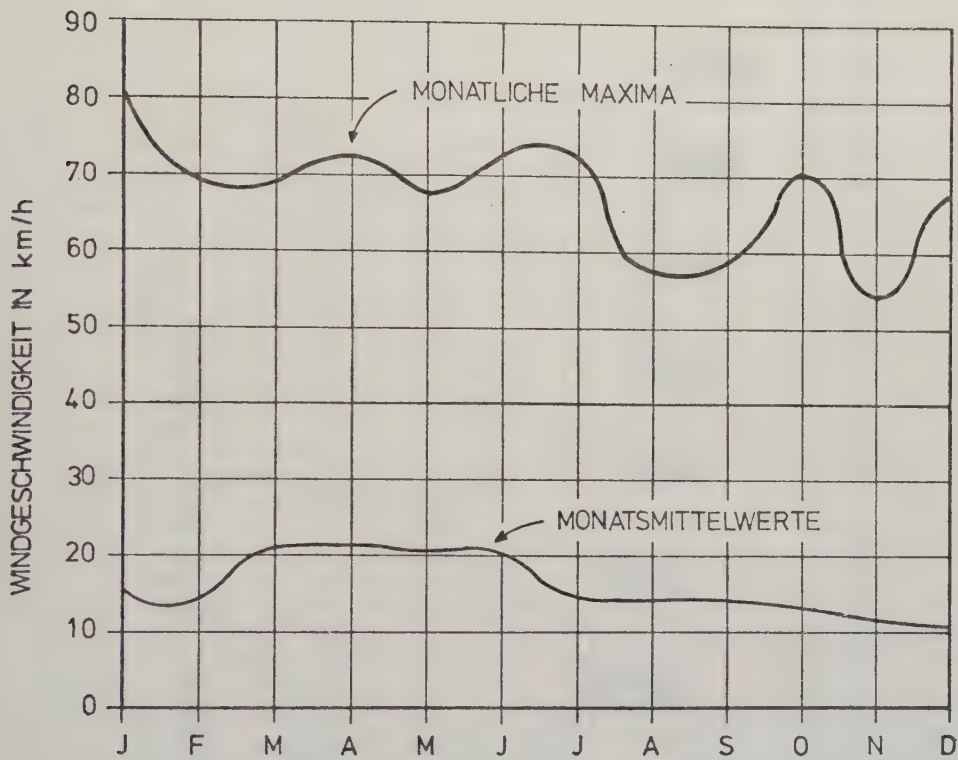


ABB. 5 JAHRESGANG DER WINDGESCHWINDIGKEIT FÜR
ALAMOSA AIRPORT 1950 - 54

*Nach Daten des US Dept. of Commerce, Air Weather Service,
Wind Data for Alamosa*

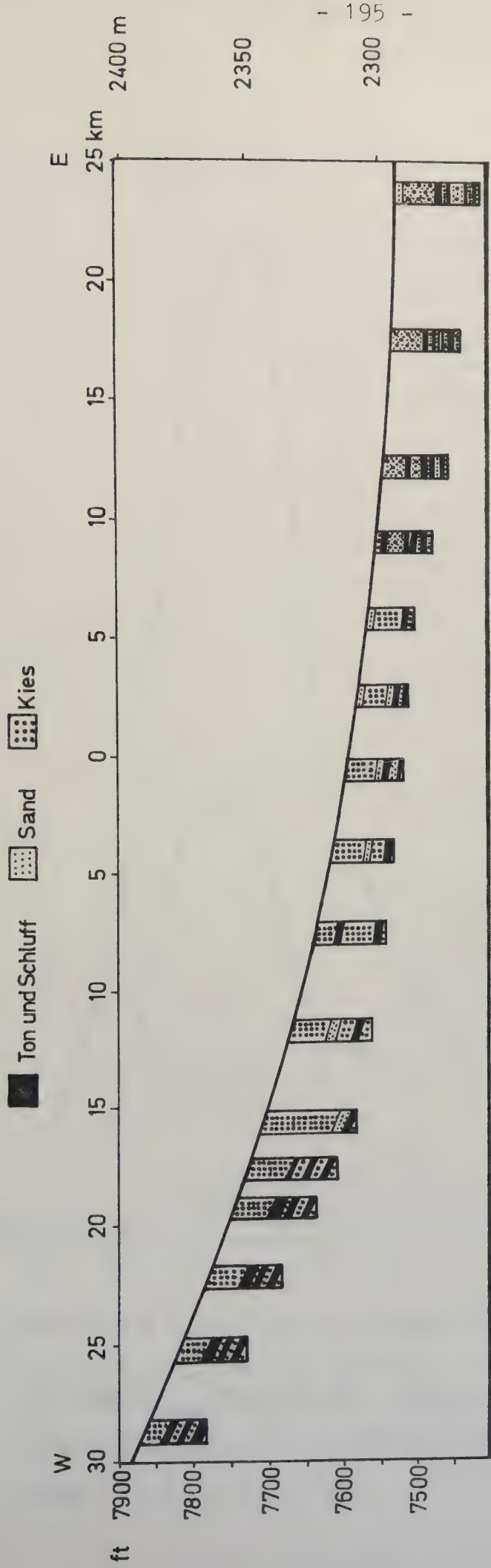


Abb. 6 Typische Abfolge von Bodenprofilen auf dem Rio Grande - Schwemmfächer und deren Höhe über NN

Verändert nach POWELL 1958, Plate 11

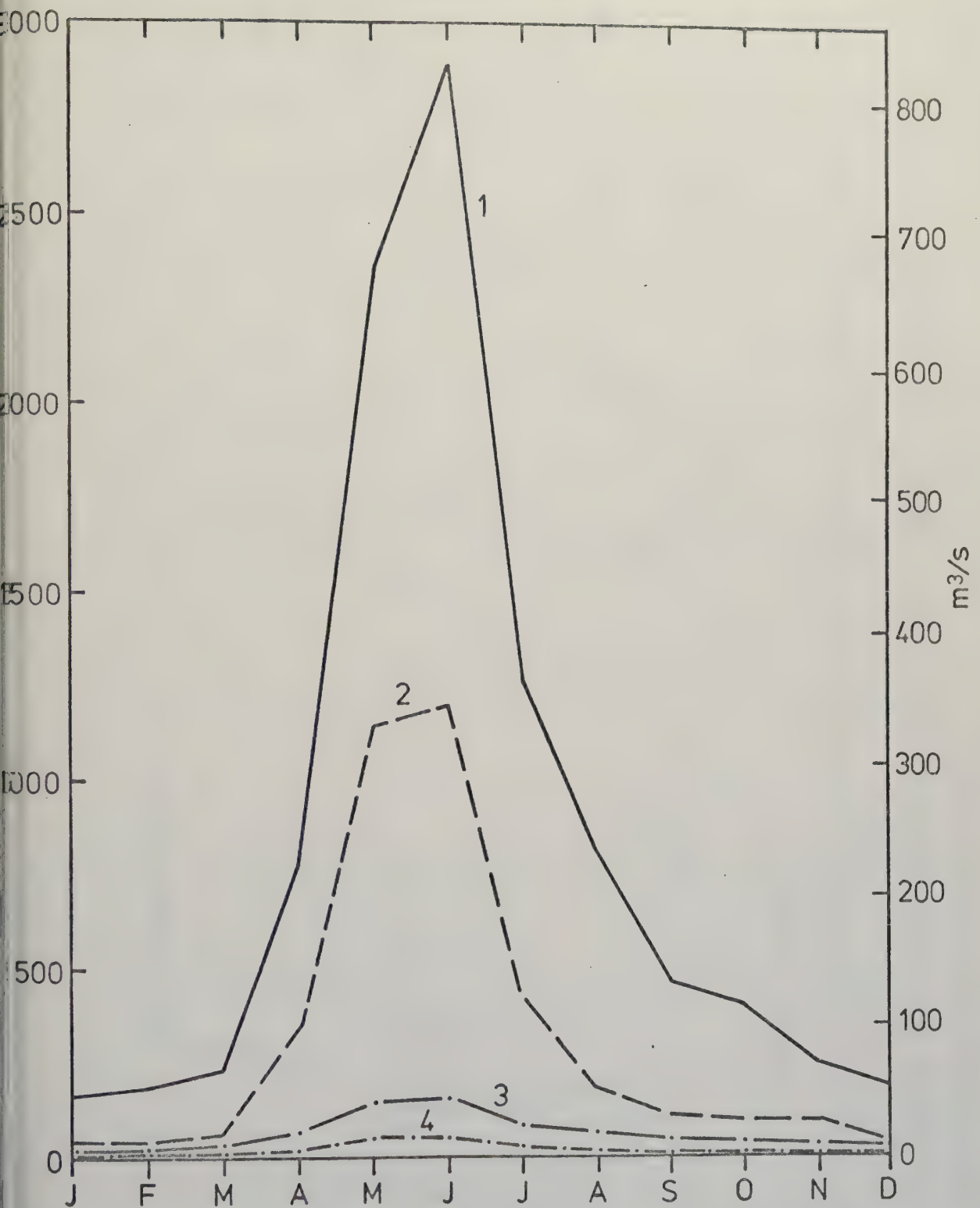


ABB. 7 MITTLERER MONATLICHER OBERFLÄCHENZUFLUSS
ZUM SAN LUIS VALLEY 1924 - 69 (1=RIO GRANDE BEI
DEL NORTE; 2=CONAJOS BEI MOGOTE; 3=SAGUACHE
BEI SAGUACHE; 4= UTE CR. BEI FORT GARLAND

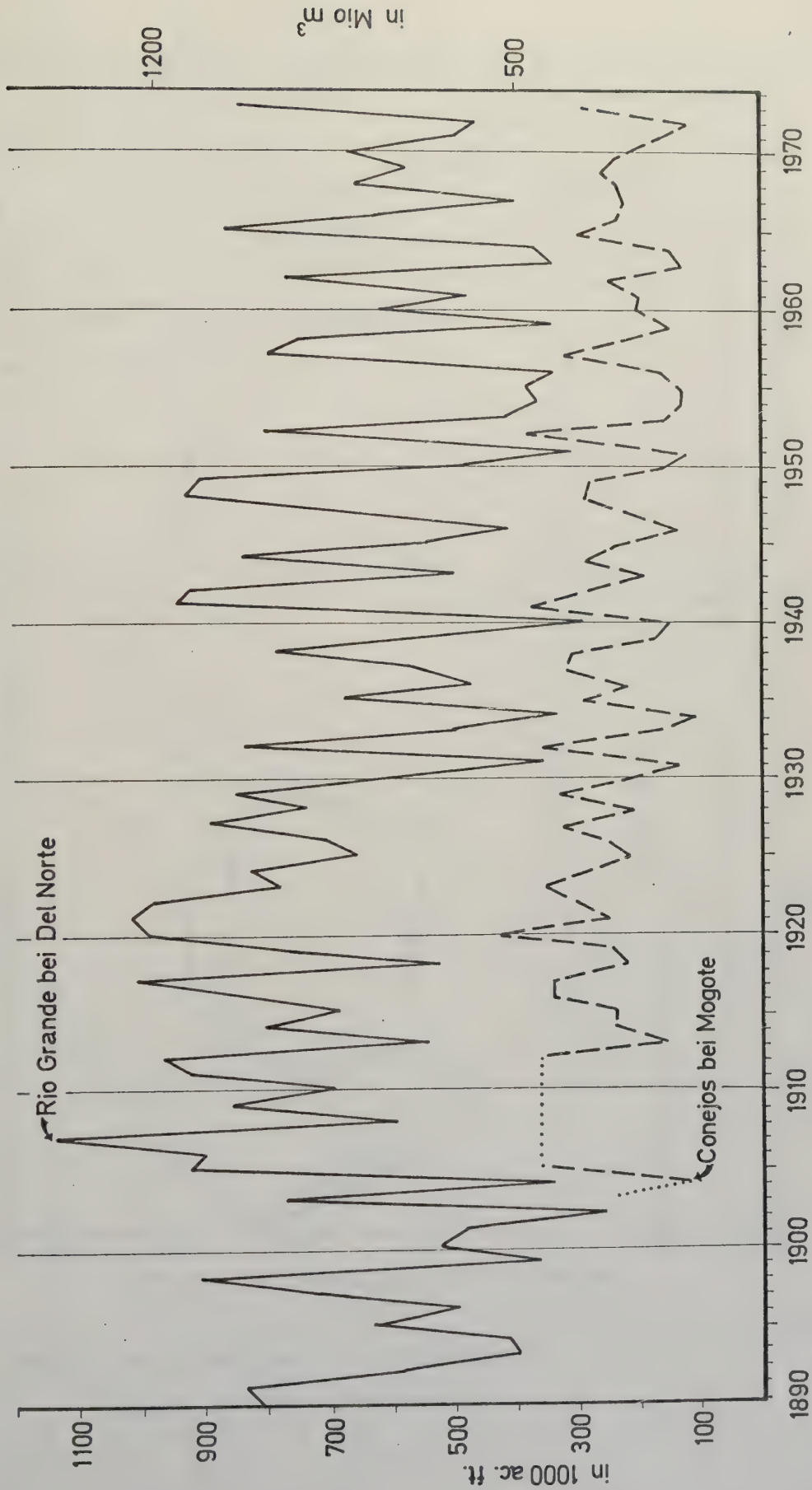


Abb. 8 Der jährliche Abfluß des Rio Grande bei Del Norte und des Conejos bei Mogote (in hydrol. Jahren)

Nach USGS Water Resources Data for Colorado

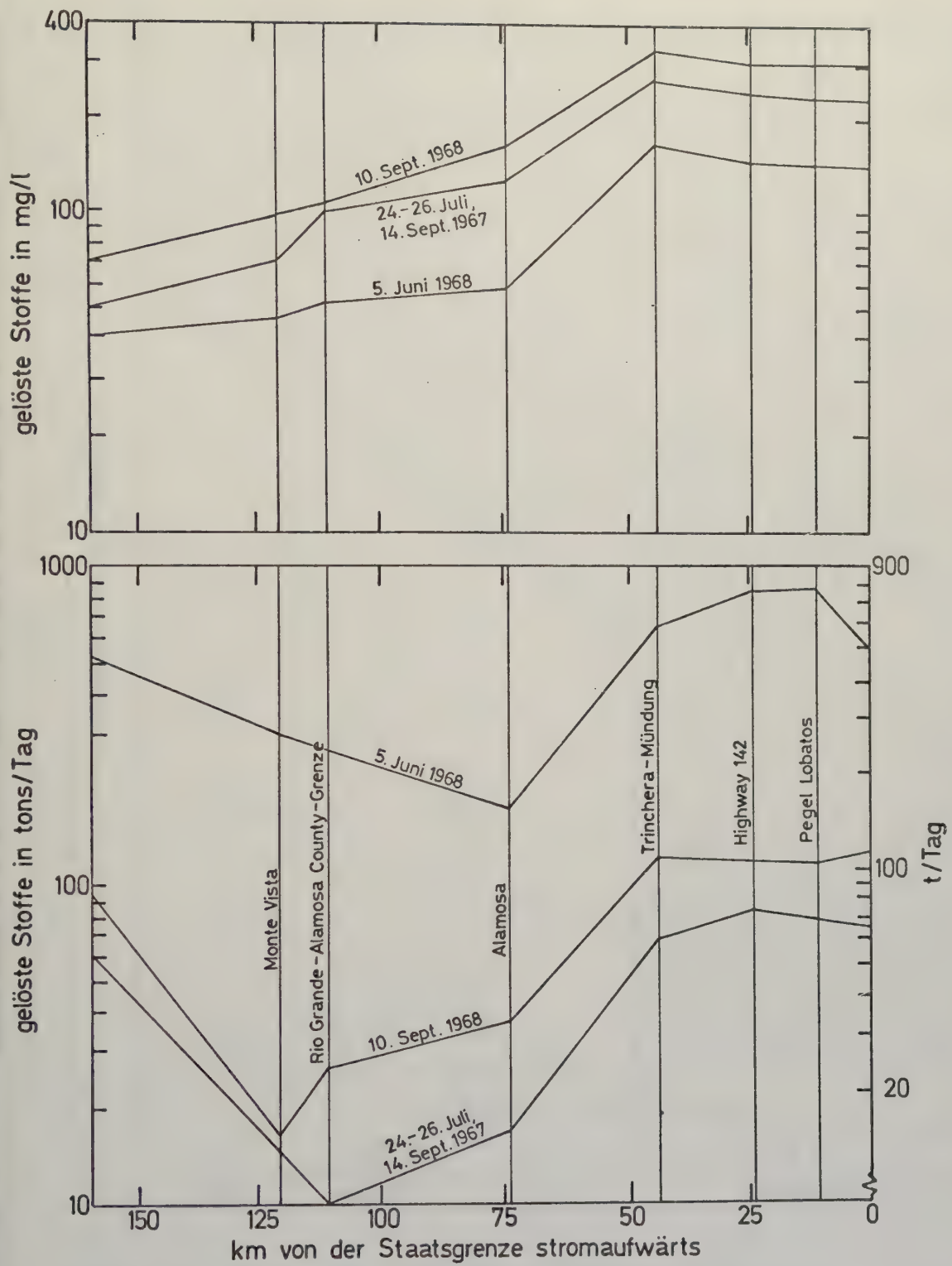


Abb. 9 Die Qualität des Rio Grande-Wassers

Verändert nach EMERY et al. 1973, S. 10, Fig. 4

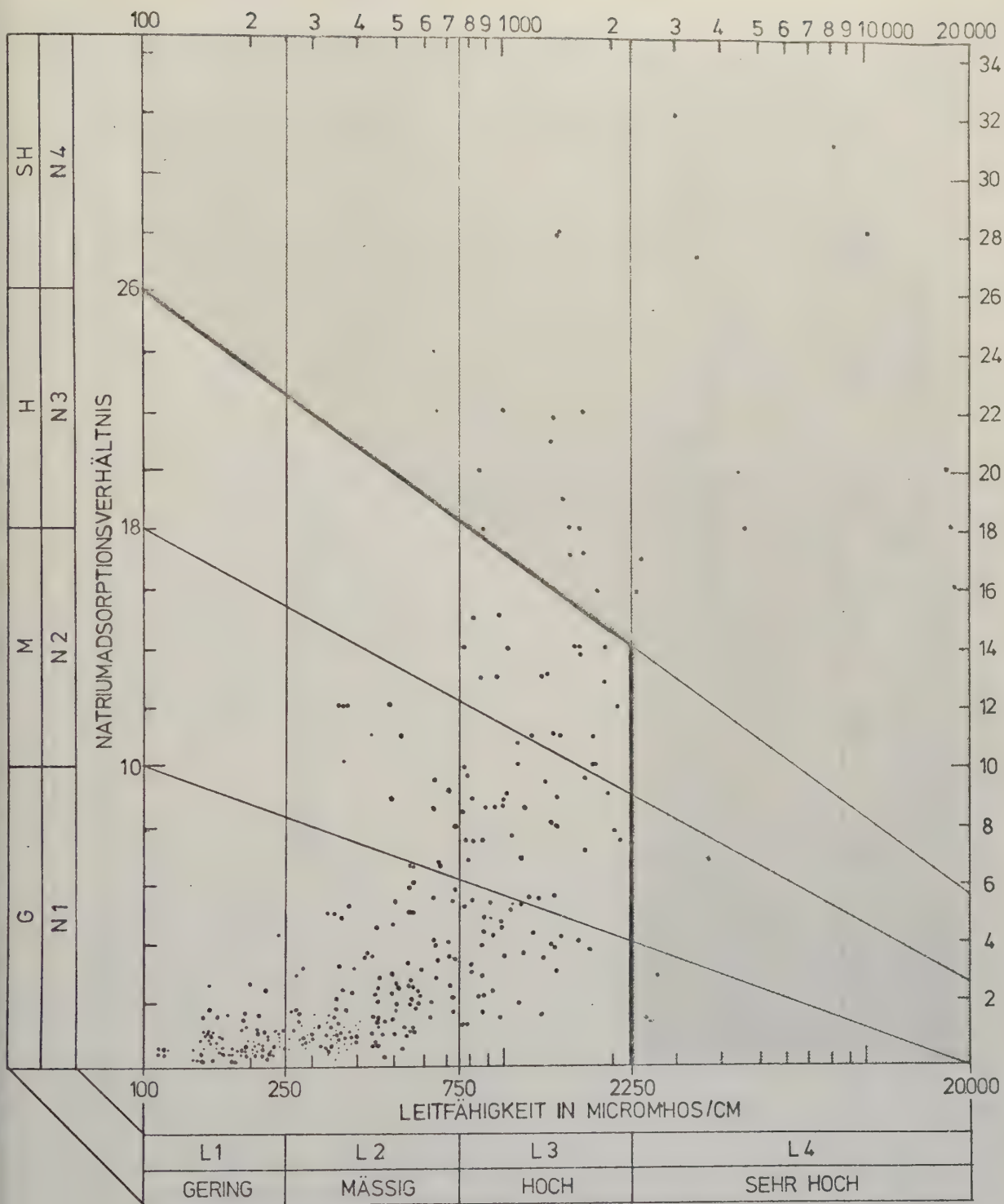


Abb. 10 Klassifikation von Grund- und Oberflächenwasser für Bewässerungszwecke im San Luis Valley (Proben der Jahre 1946-53)

Verändert nach POWELL 1958, Table 12

- gespanntes Grundwasser
- ungespanntes Grundwasser
- Oberflächenwasser

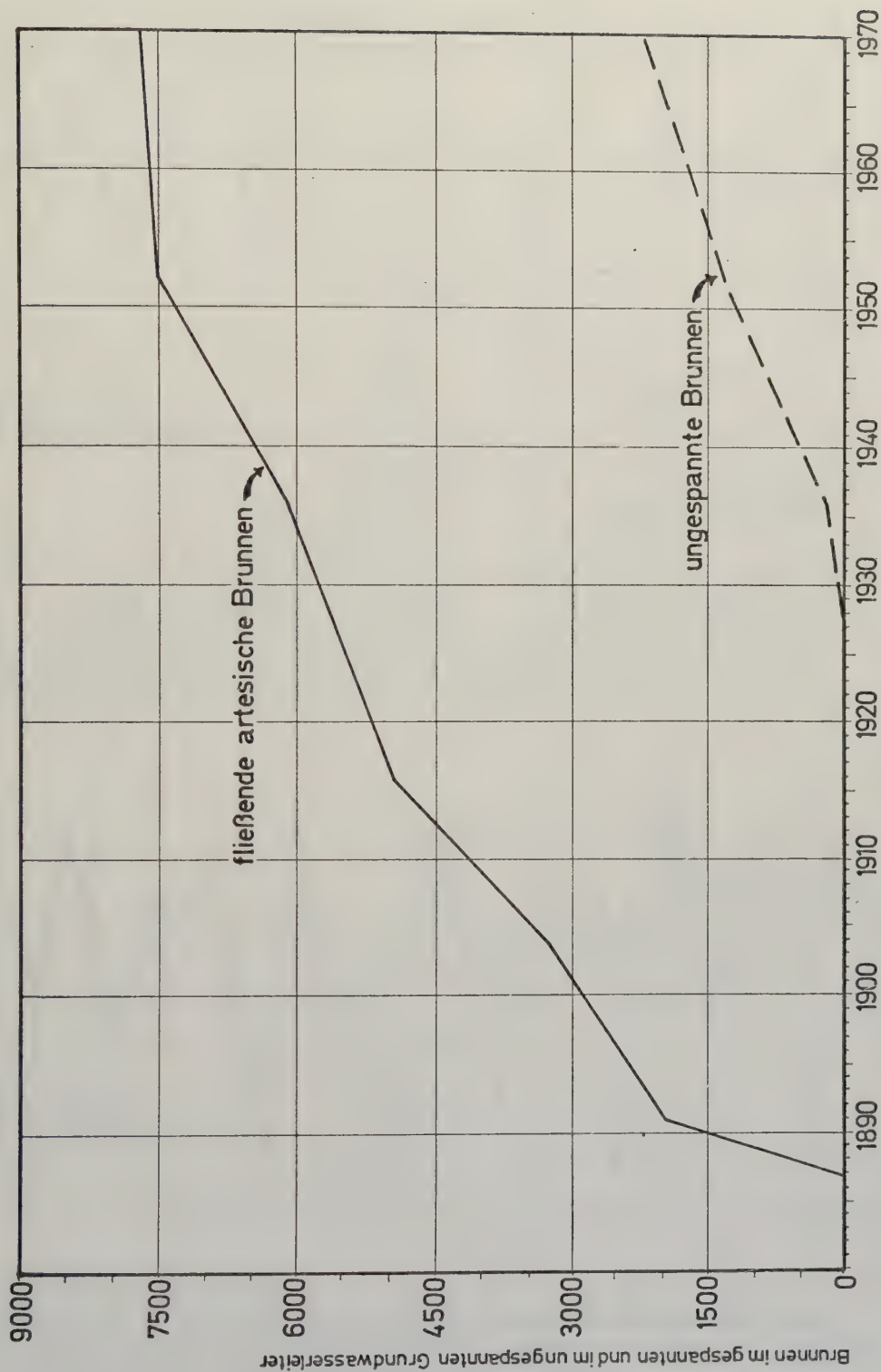


Abb. 11 Anzahl der fließenden artesischen Brunnen und der Brunnen im ungespannten Grundwasserleiter im San Luis Valley 1887-1970

Verändert und ergänzt nach POWELL 1958, S. 27, Abb. 7

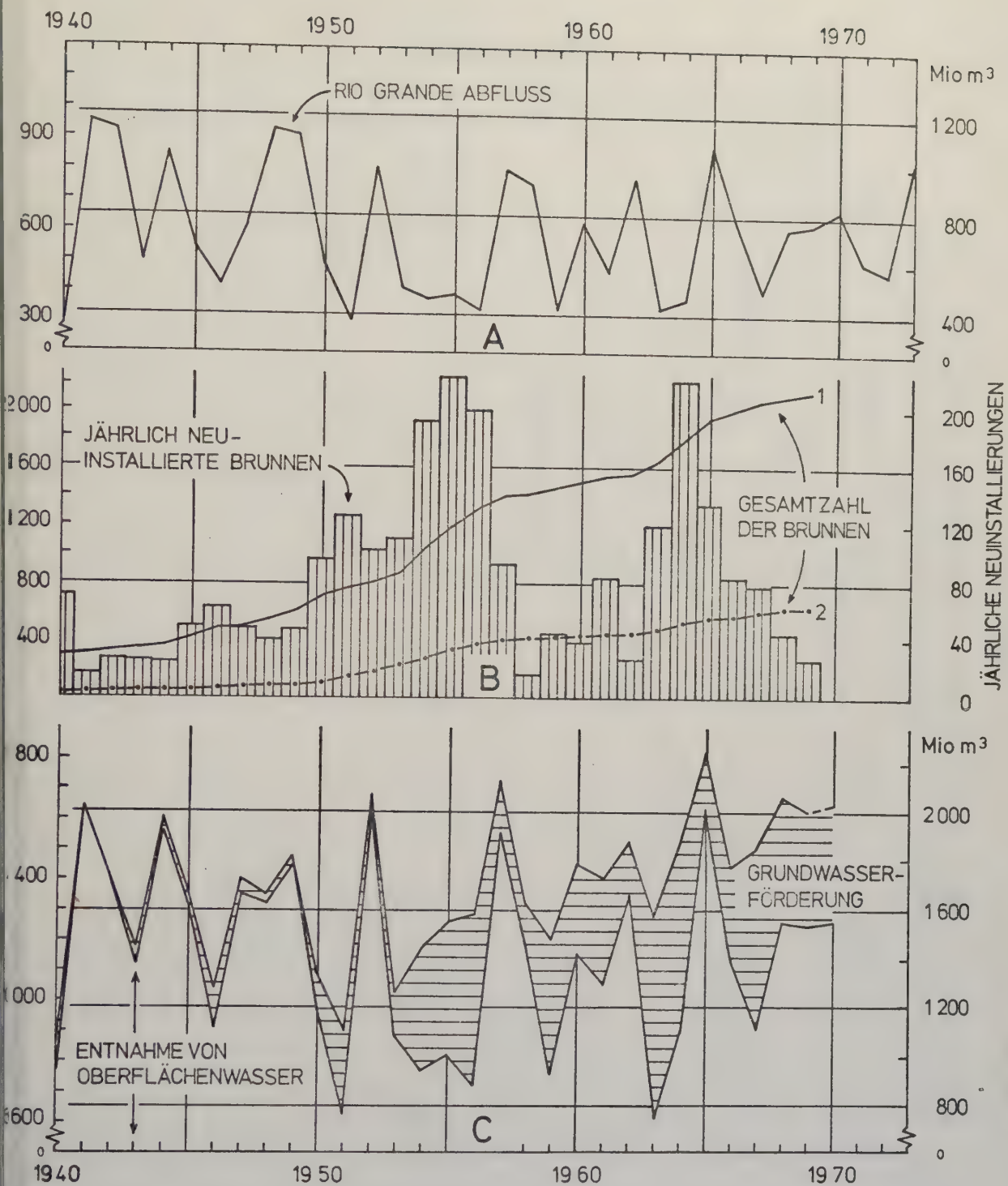


Abb.12 A. Abfluß des Rio Grande River

B. Installierung von Hochleistungsbrunnen für Bewässerungszwecke (Kapazität $> 1900 \text{ l/sec}$; schraffiert = jährlich neu hinzugekommene Brunnen; 1 = Gesamtzahl der Brunnen im ungespannten Grundwasserleiter; 2 = Brunnen im gespannten Grundwasserleiter).

C. Oberflächenwasserentnahme und Grundwasserförderung

Nach Daten des U.S.G. S. Denver

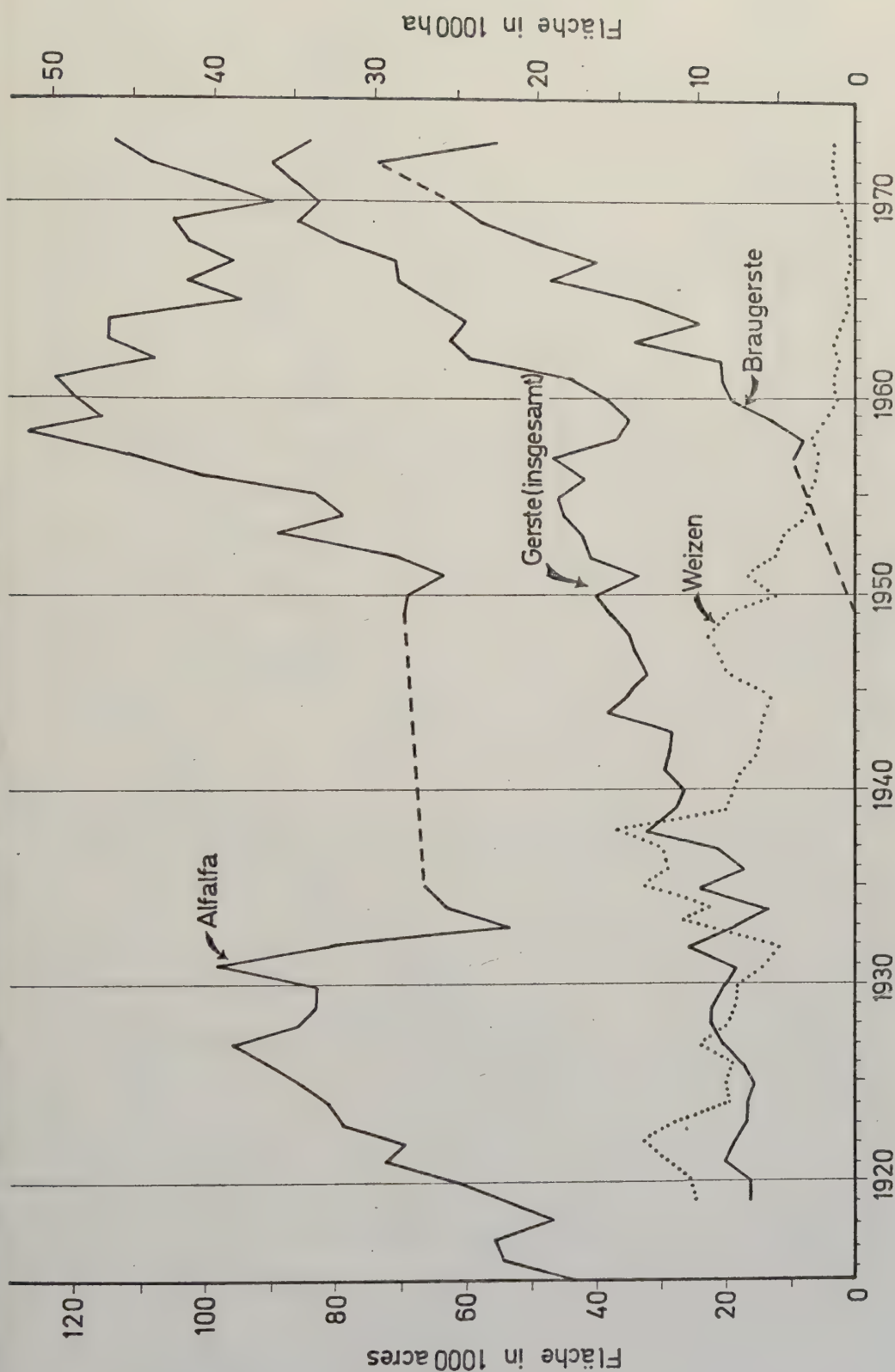


Abb.13 Ausdehnung der Anbaufläche von Sommer- und Winterweizen, Gerste (ab 1949 einschließlich Braugerste) und Alfalfa im San Luis Valley 1919-1973.

Nach Daten des CCLRS, Denver und des R.G. Joint Investigation 1938

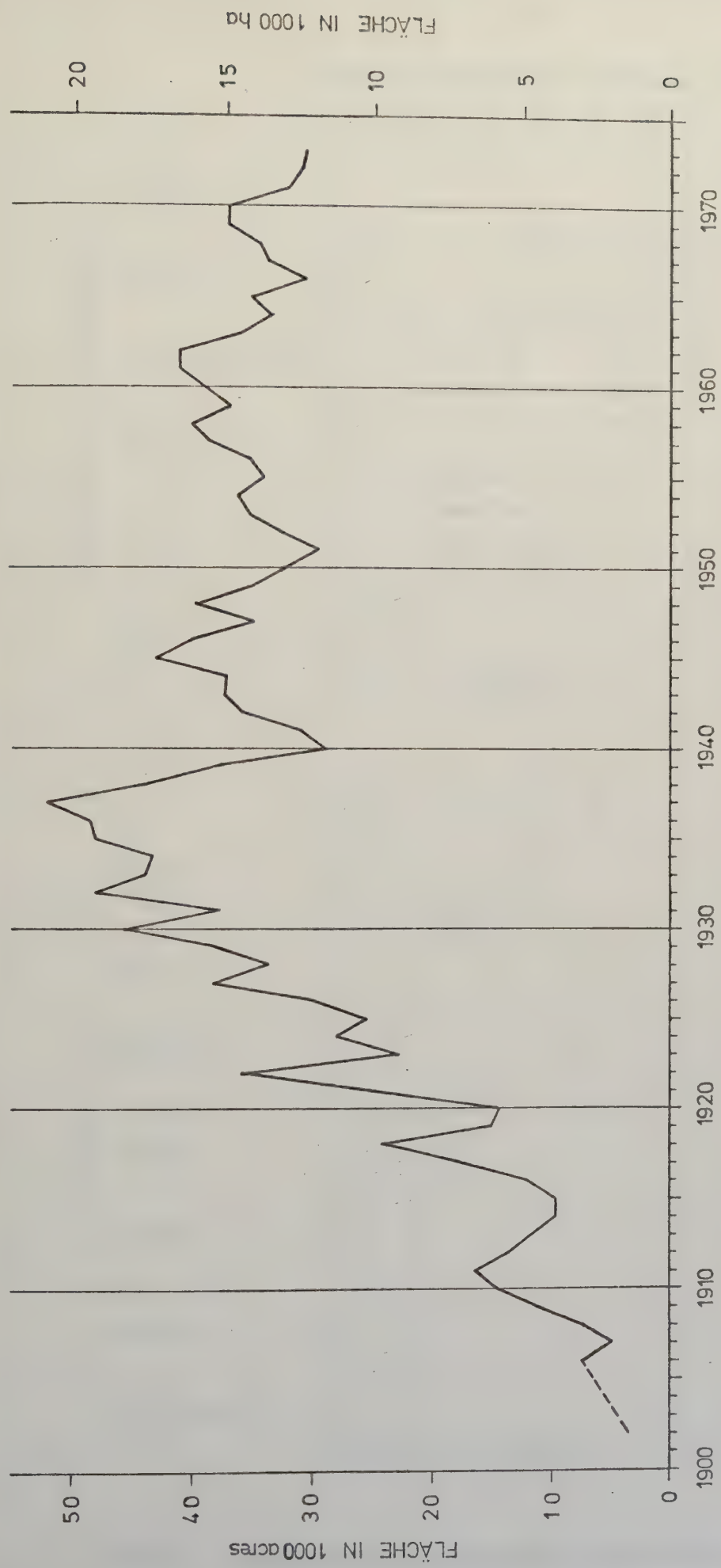


ABB. 14 DIE AUSDEHNUNG DER KARTOFFELANBAUFLÄCHE IM SAN LUIS VALLEY 1902-1973

Nach Daten des CCLRS, Denver und des R.G. Joint Investigation 1938

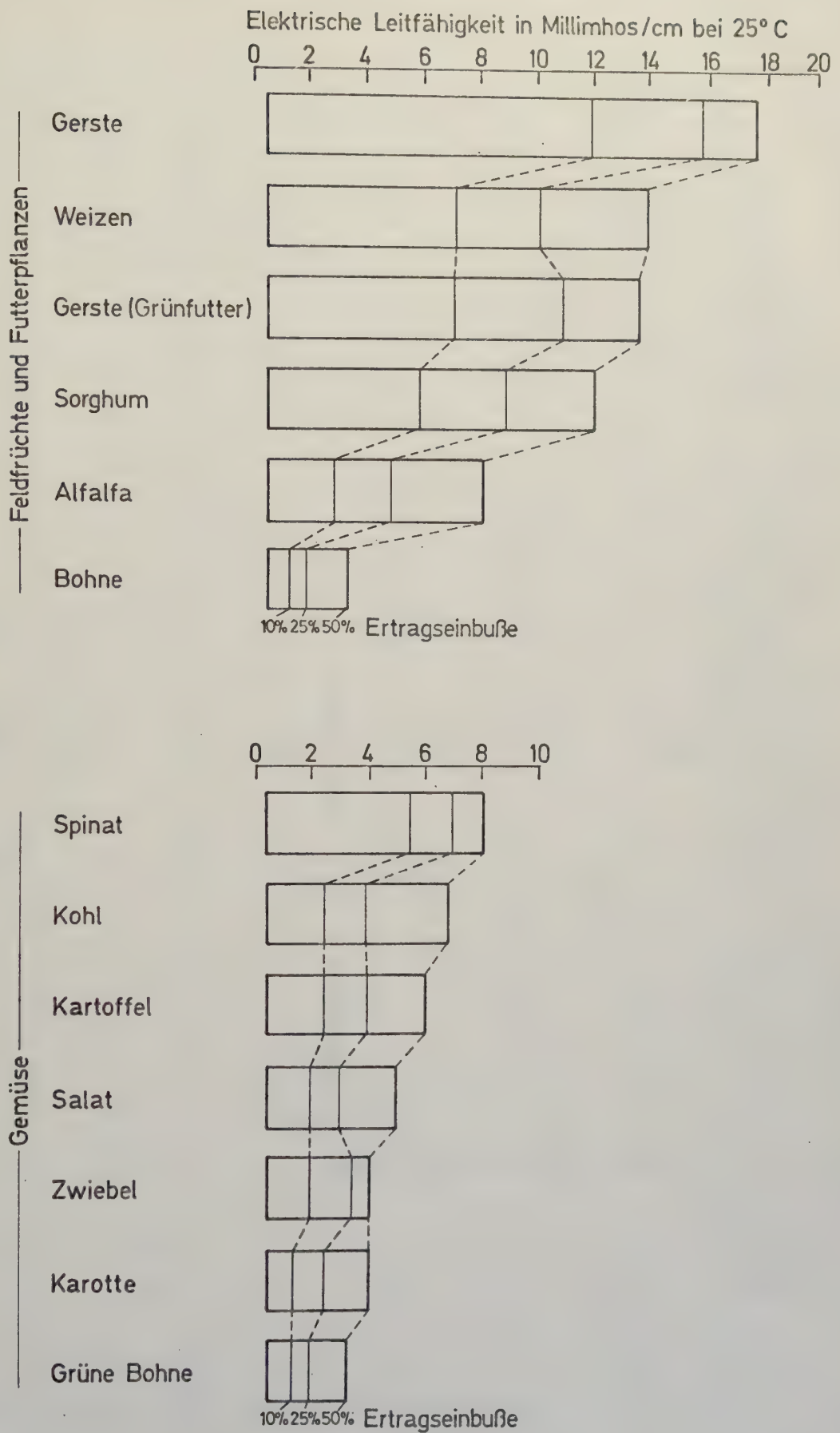


Abb.15 Die Salztoleranz verschiedener Anbauprodukte

Nach USDA, Agric. Inf. Bull. No. 283

Prinzip der Unterflurbewässerung

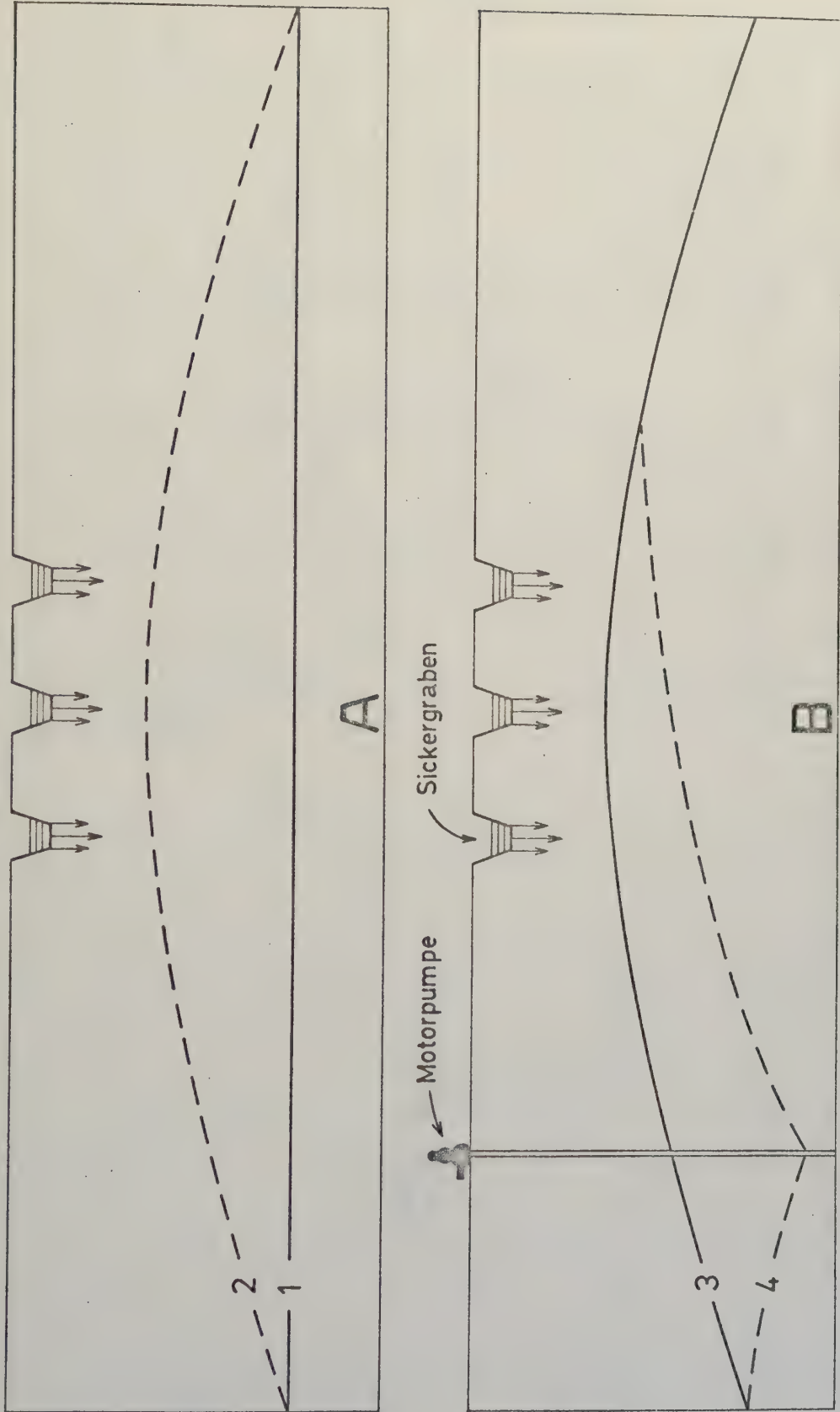


Abb. 16 Die Unterflurbewässerung A=örtlicher Anstieg des Grundwasser(GW) - Spiegels bei Unterflur - bewässerung ; B=Beeinträchtigung des ungespannten GW-Spiegels durch Brunnenbetrieb.
1= GW - Spiegel vor Beginn , 2+3=GW-Spiegel während der Unterflurbewässerung
4= GW - Spiegel bei Brunnenbetrieb.

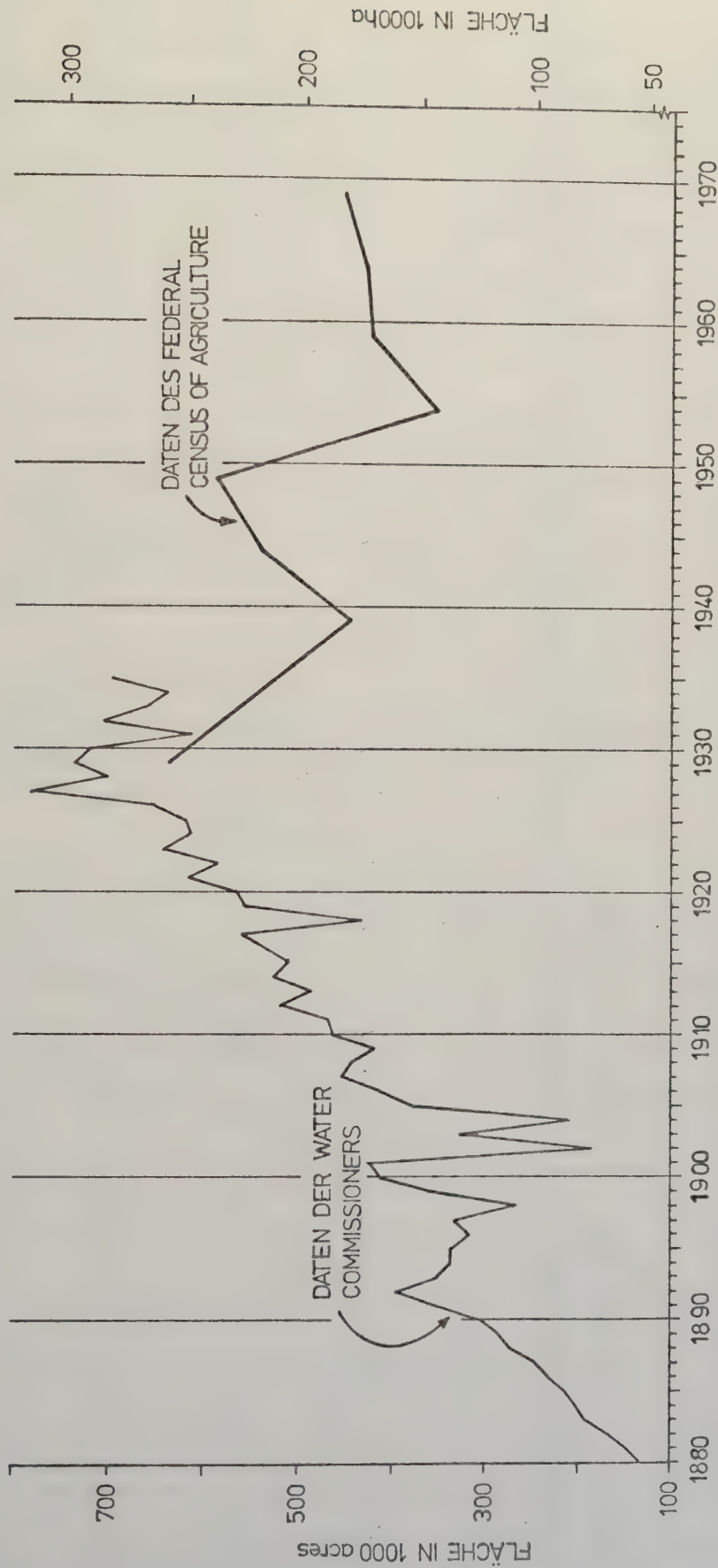


ABB. 17 DIE AUSDEHNUNG DER BEWÄSSERUNGSFLÄCHE IM SAN LUIS VALLEY 1880-1969

Nach Daten des R.G. Joint Investigation (1880-1935) und des US Census of Agriculture (1929-69)

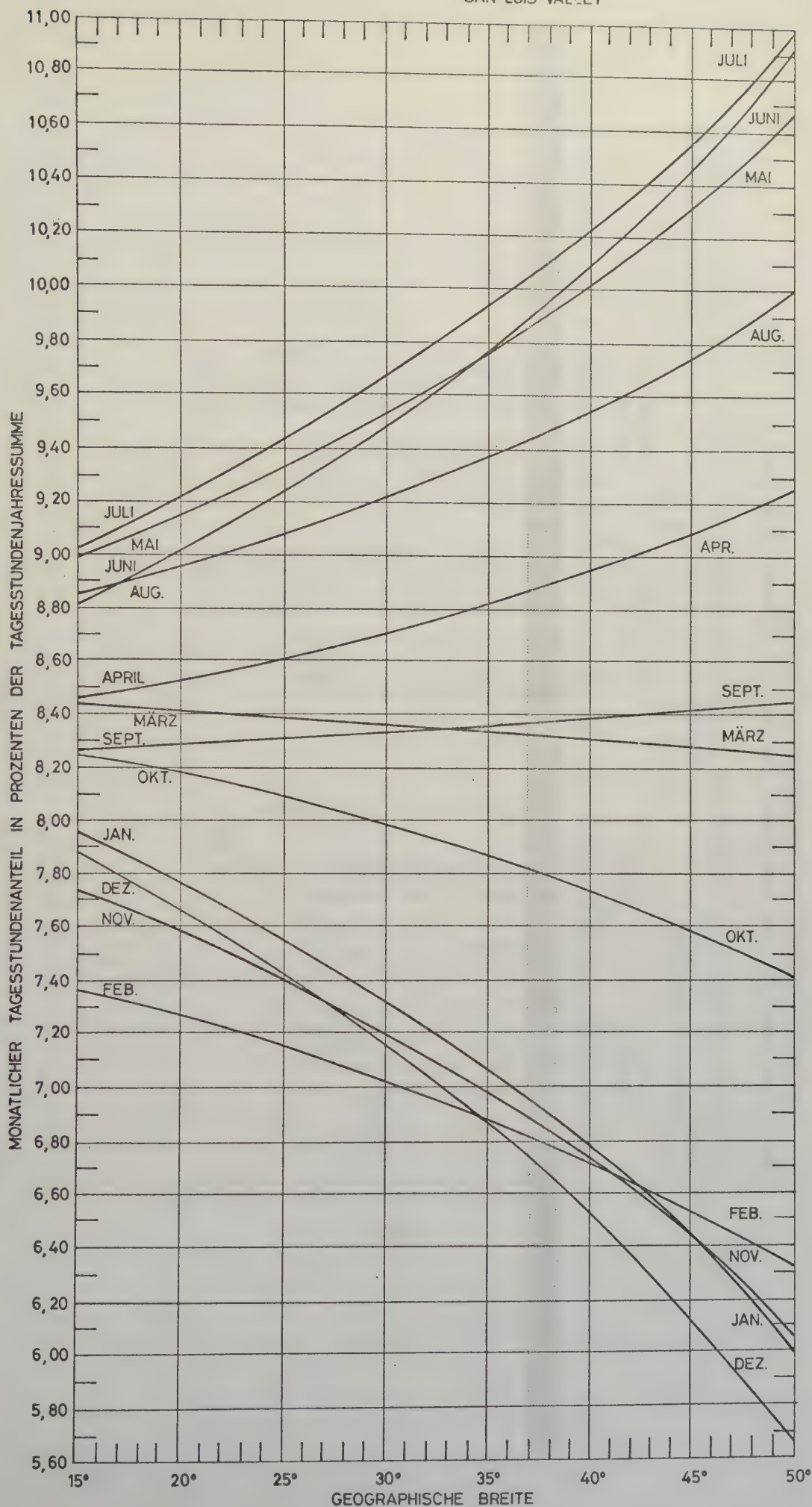


Abb. 18 Der monatliche Tagesstundenanteil in Prozenten der Tagesstundenjahressumme für den Bereich zwischen 15° und 50° nördl. Breite.

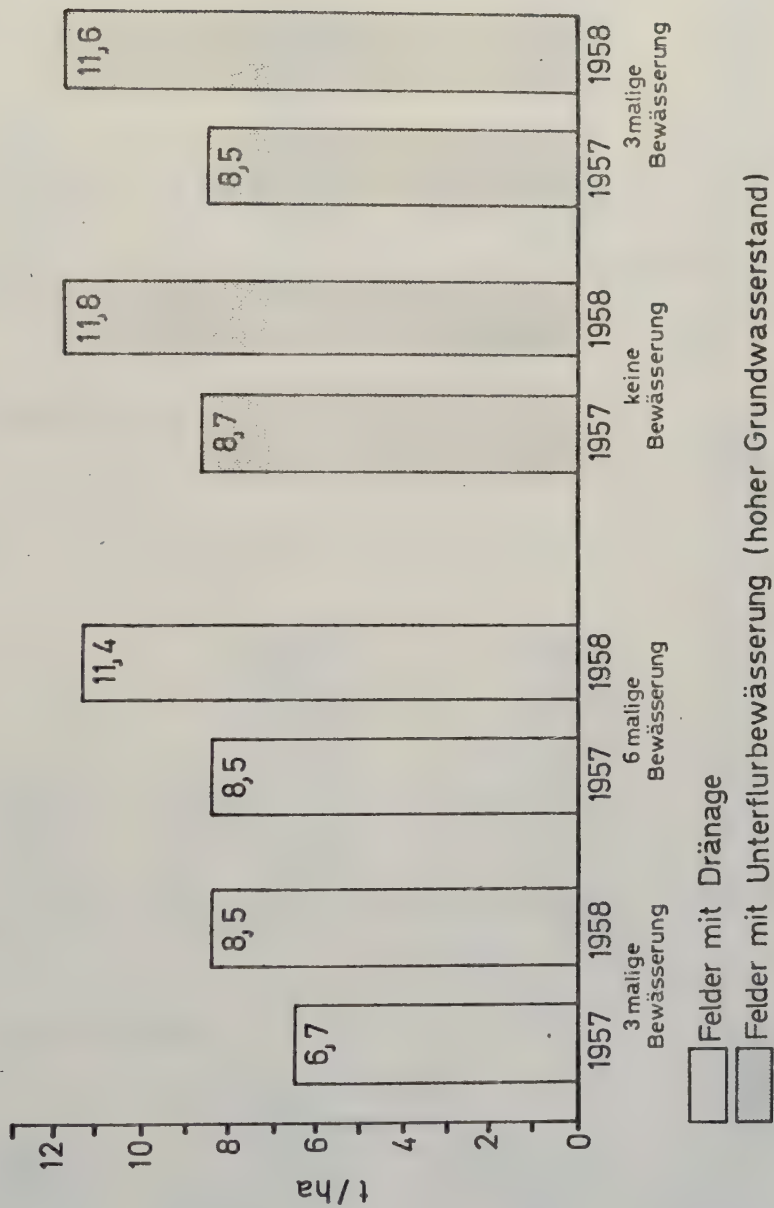


Abb. 19 Alfalfaerträge bei verschieden bemessenen Wassergaben und unterschiedlichem Grundwasserstand 1957-58

Nach FRANKLIN & WHITNEY 1959, S. 8, Plate 3

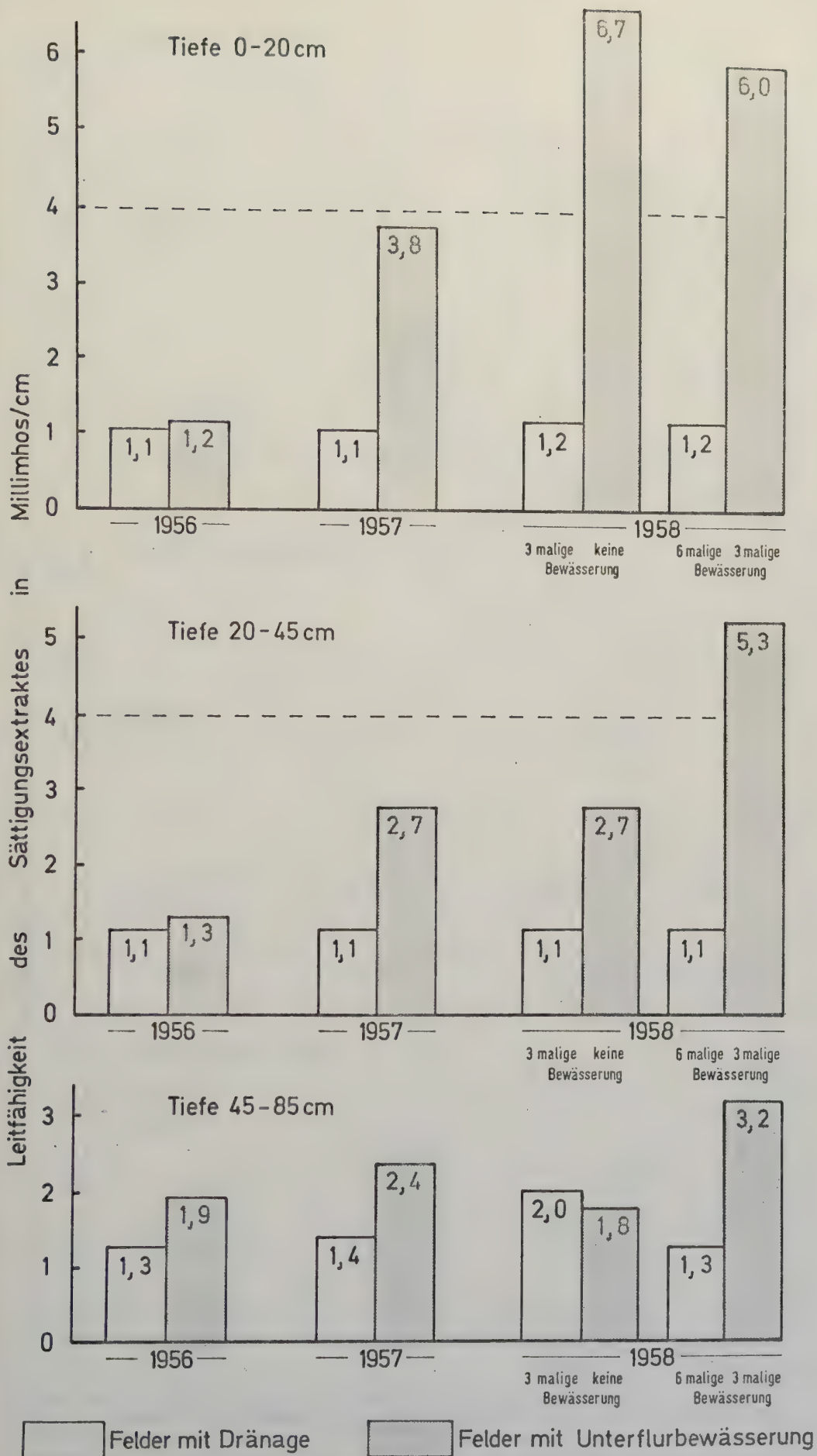


Abb.20 Neutralsalzakkumulation im Boden bei verschiedenen bemessenen Wassergaben und unterschiedlichem Grundwasserstand

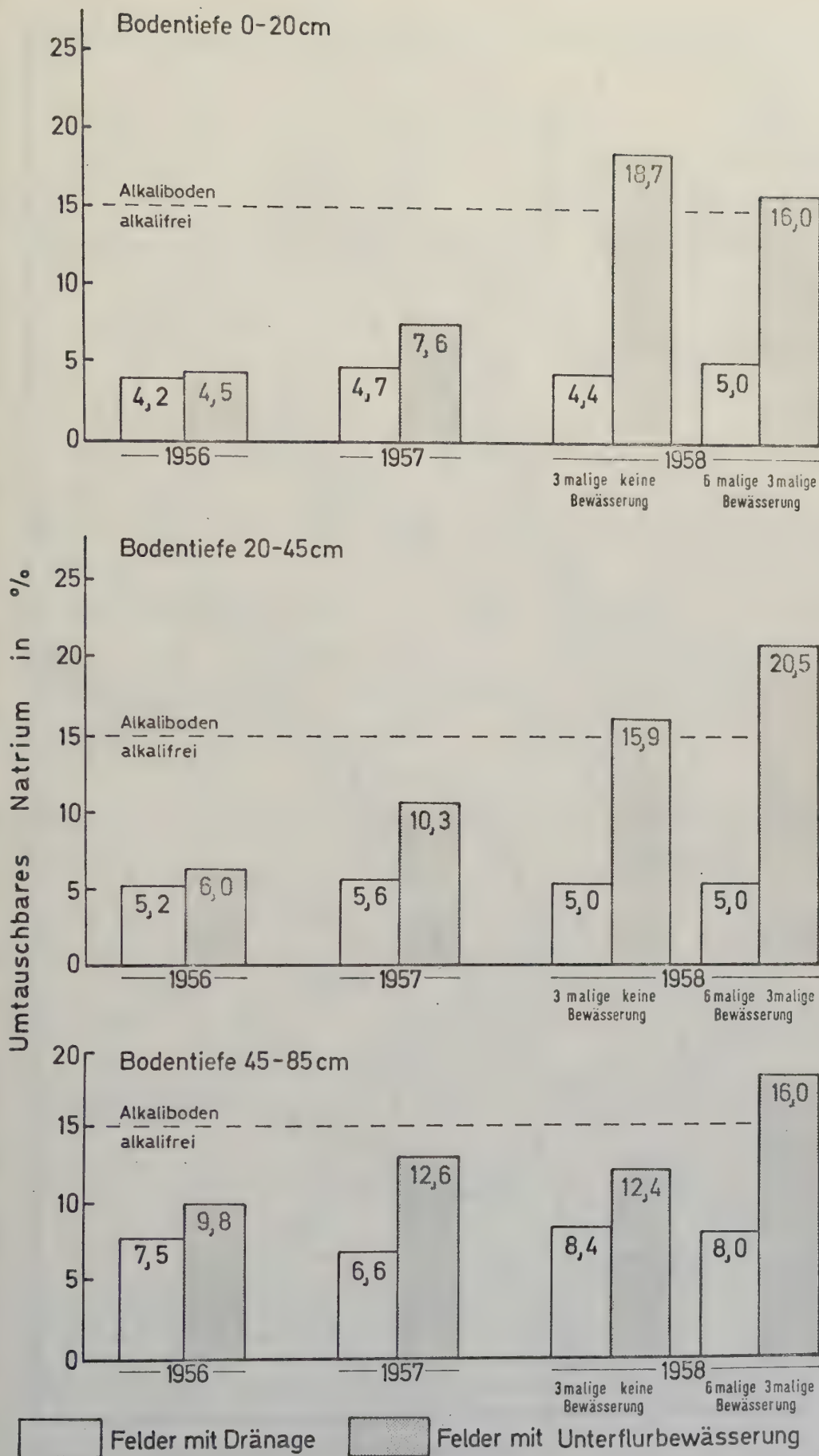
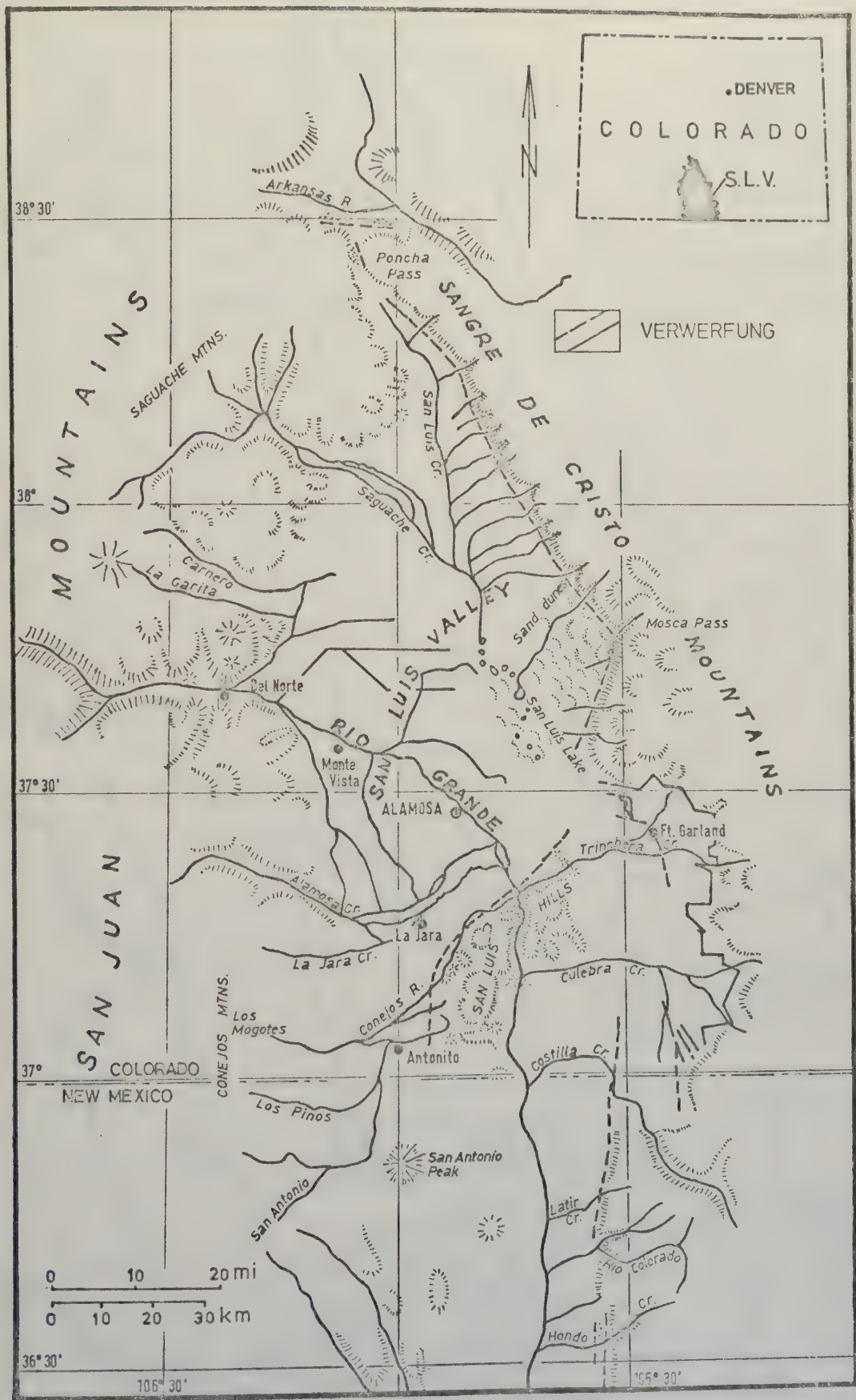
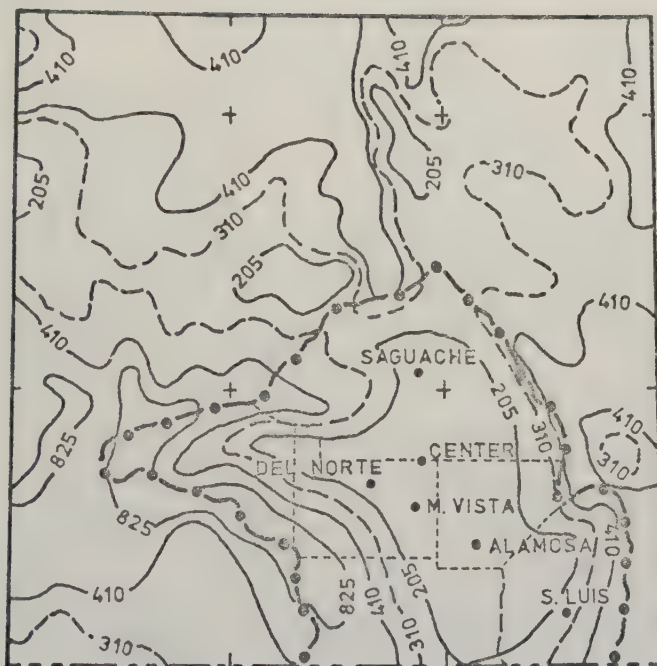


Abb. 21 Natriumakkumulation im Boden bei verschieden bemessenen Wassergaben und unterschiedlichem Grundwasserstand



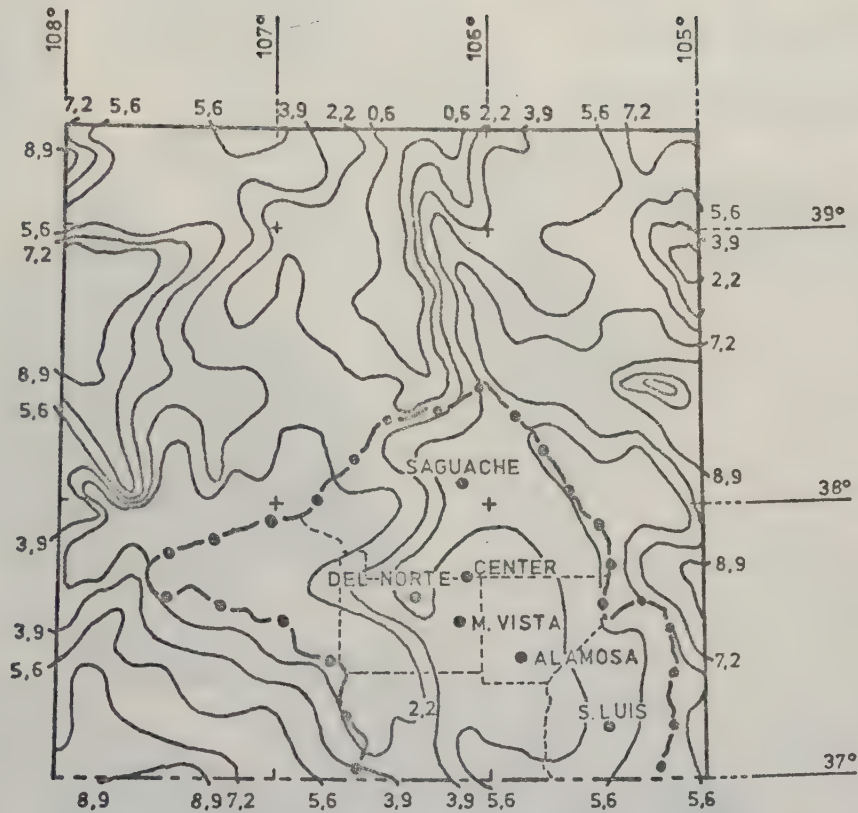
Karte 1 Lage des Untersuchungsgebietes

Verändert nach R.G. Joint Investigation, 1938, S.210, Fig.47



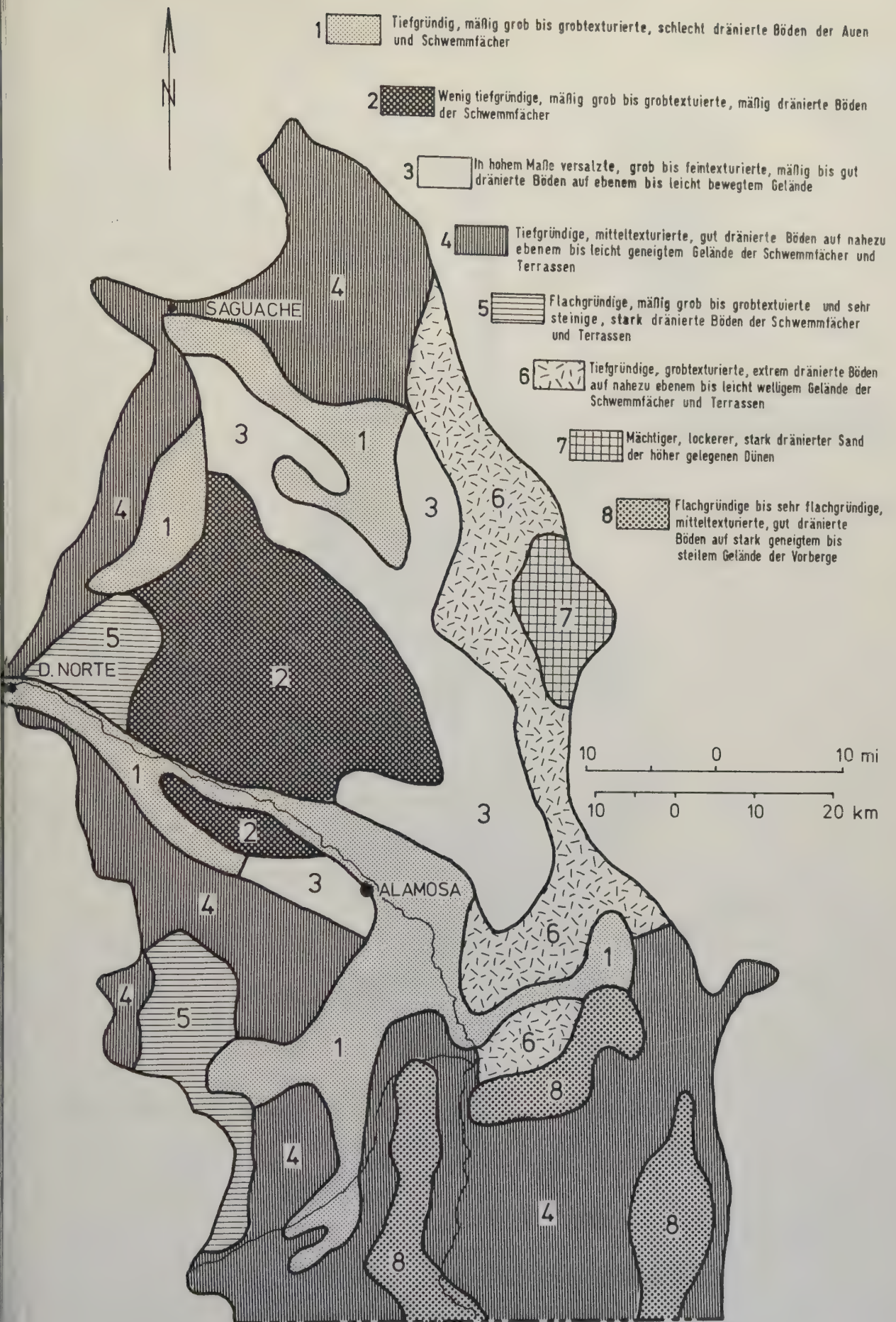
Karte 3 Die Jahresisohyeten im Rio Grande-Einzugsgebiet / San Luis Valley (in mm)

Verändert nach US Weather Bureau Climatological Data 1970



Karte 4 Die Jahresisothermen im Rio Grande - Einzugsgebiet / San Luis Valley (in °C)

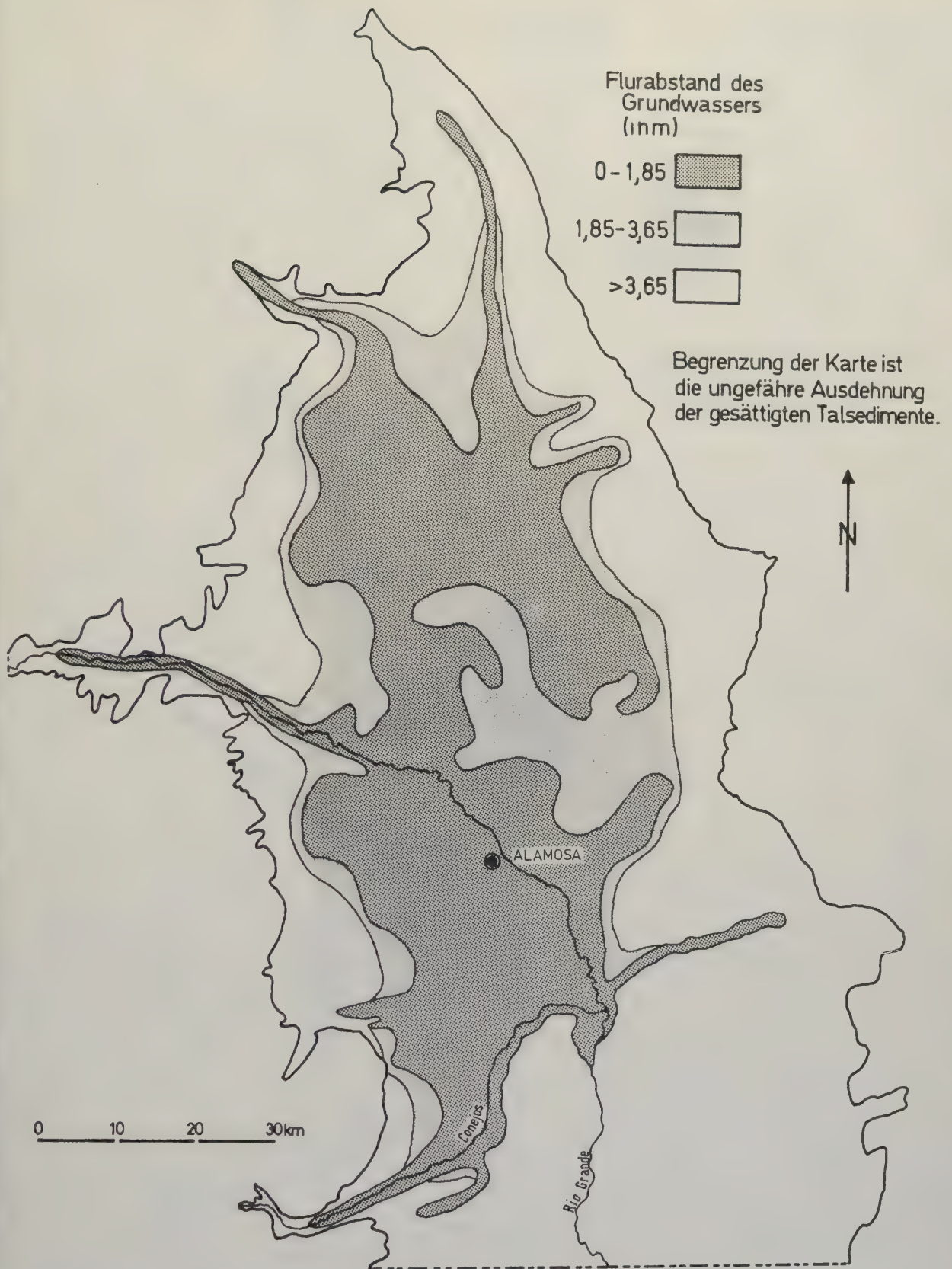
Verändert nach US Weather Bureau Climatological Data 1970



Karte 5

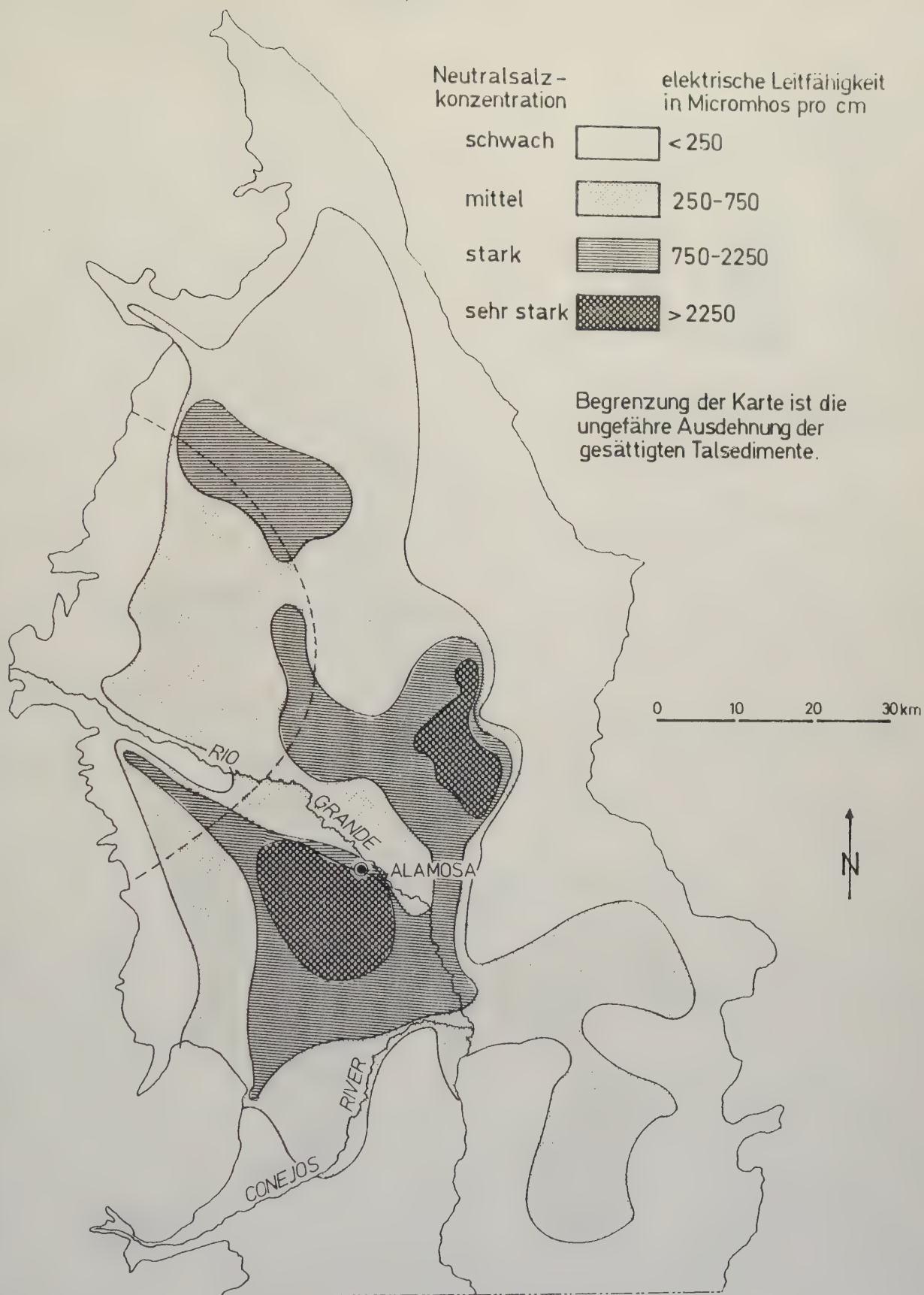
Die Böden im San Luis Valley

Verändert nach S.L.V. C.O.G. 1974, Vol. I, S. 24, Karte 5



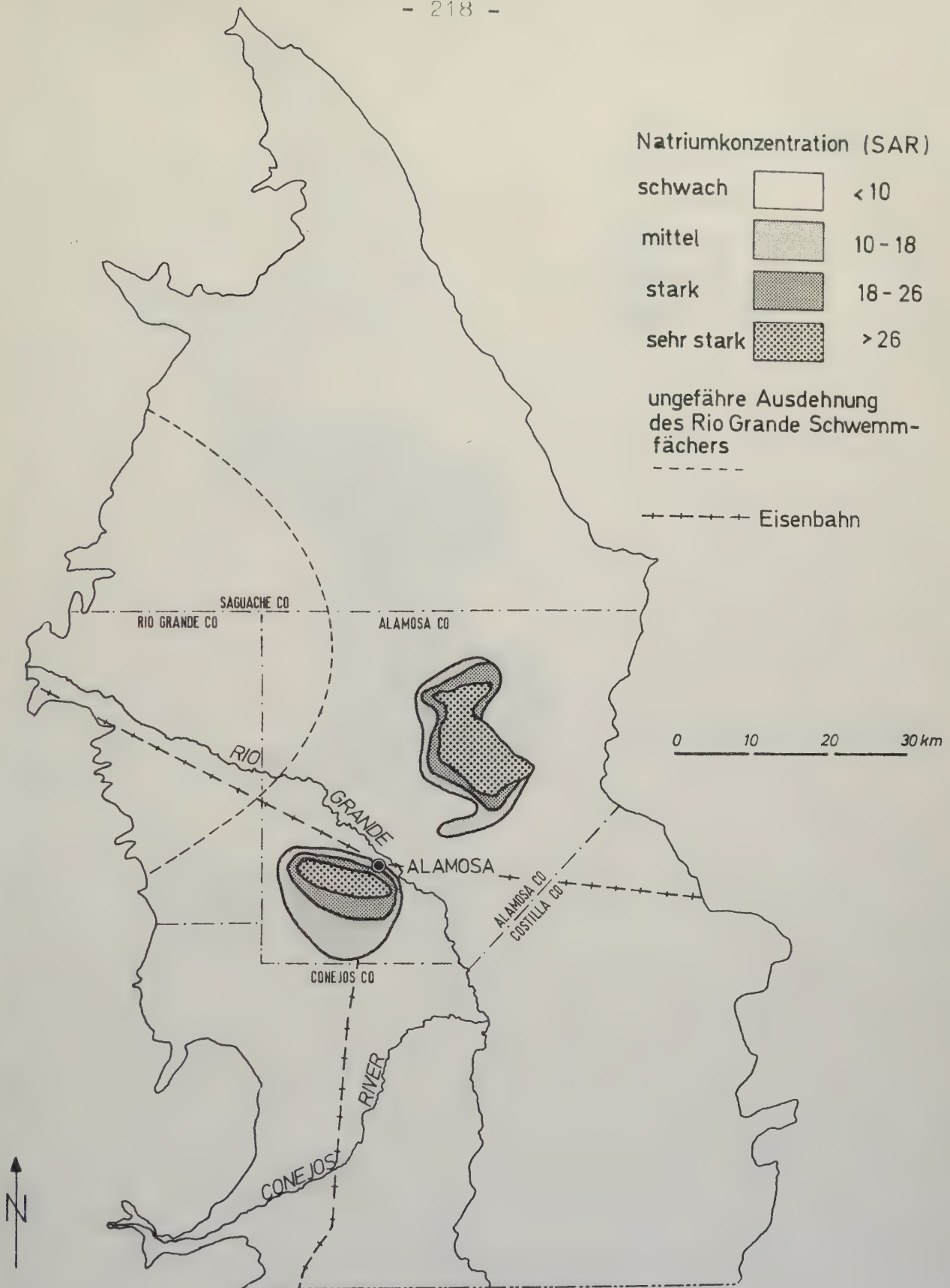
KARTE 6 DER FLURABSTAND DES GRUNDWASSERS
IM SAN LUIS VALLEY

Verändert nach EMERY et al. 1971, Sheet 1



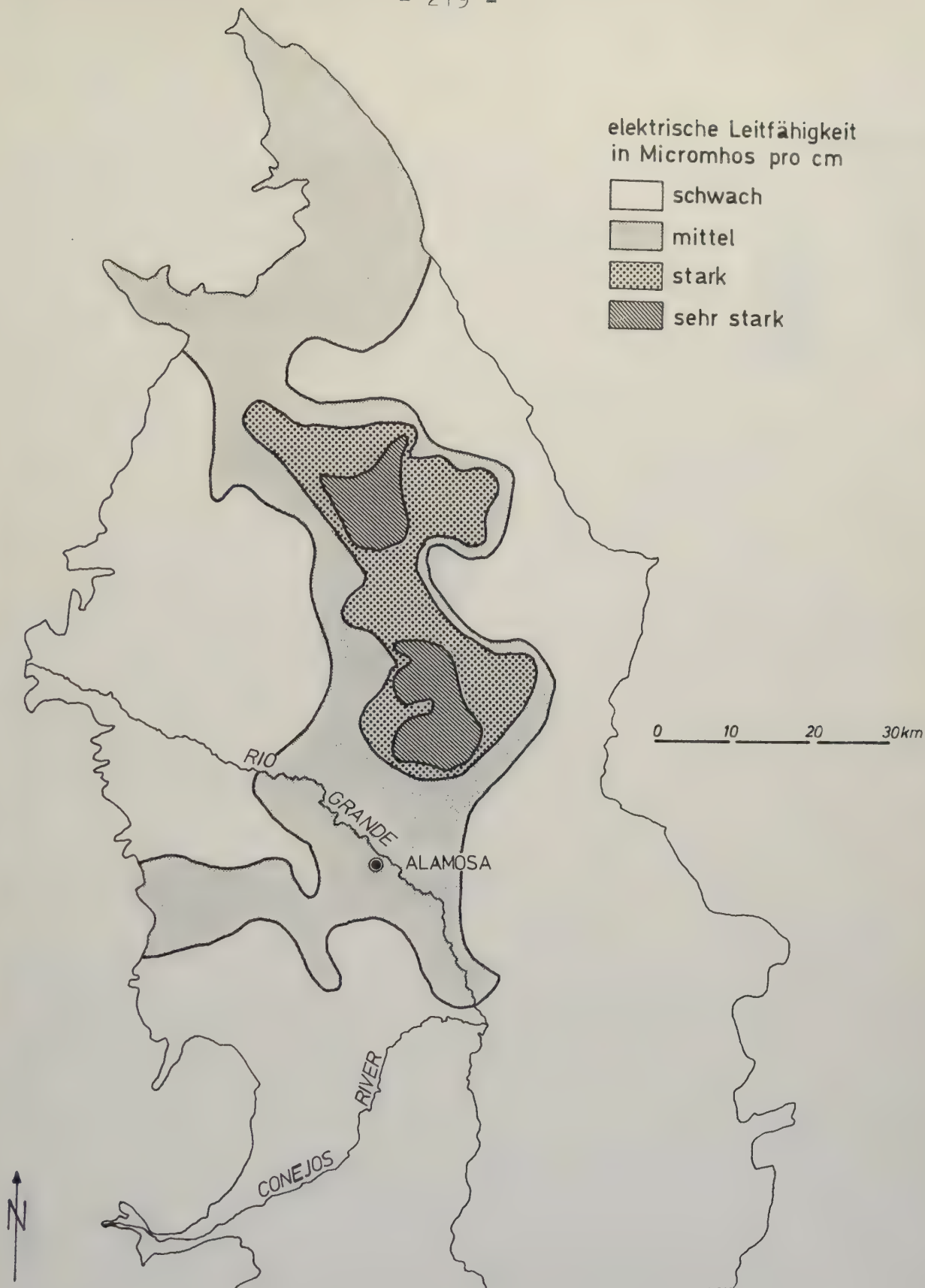
KARTE 7 NEUTRALSALZKONZENTRATION IM UNGESPANNTEN
GRUNDWASSERLEITER

Nach EMERY et al. 1973, Plate 4



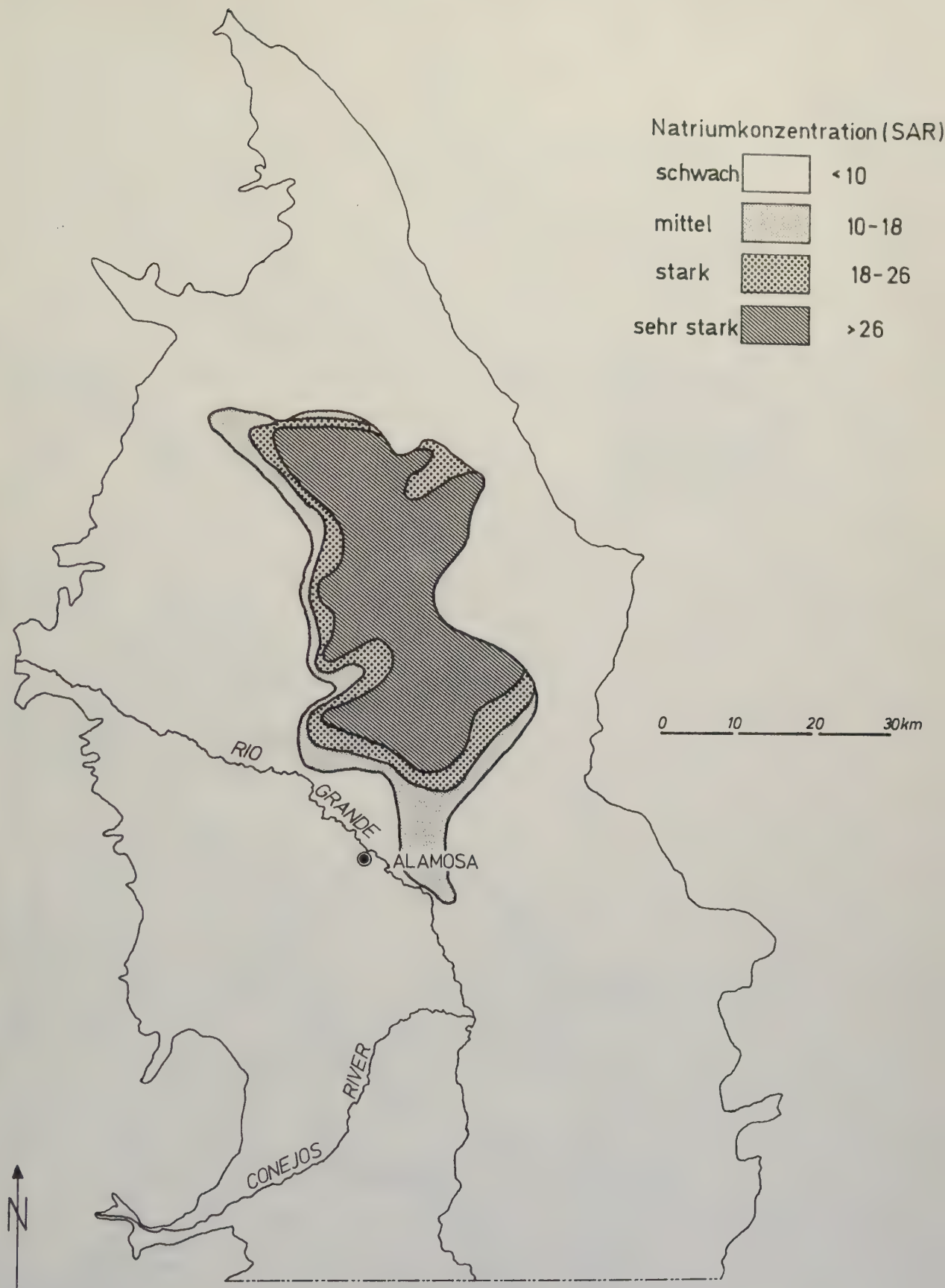
Karte 8 Natriumkonzentration im ungespannten Grundwasserleiter

Nach EMERY et al. 1973, Plate 5



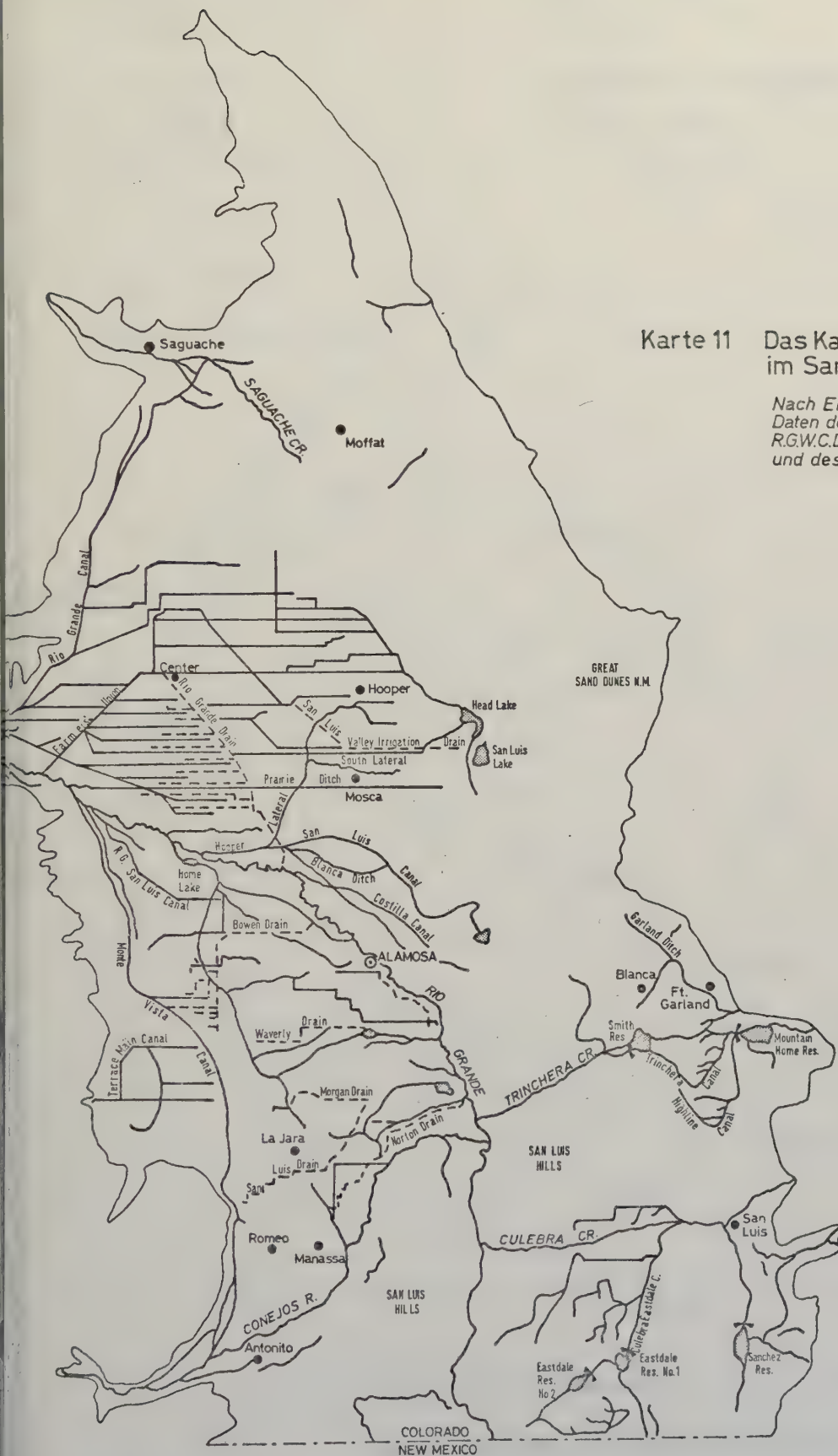
Karte 9 Neutralsalzkonzentrationen im gespannten Grundwasserleiter

Nach EMERY et al. 1973, Plate 5



Karte 10 Natriumkonzentrationen im gespannten Grundwasserleiter

Nach EMERY et al. 1973, Plate 8



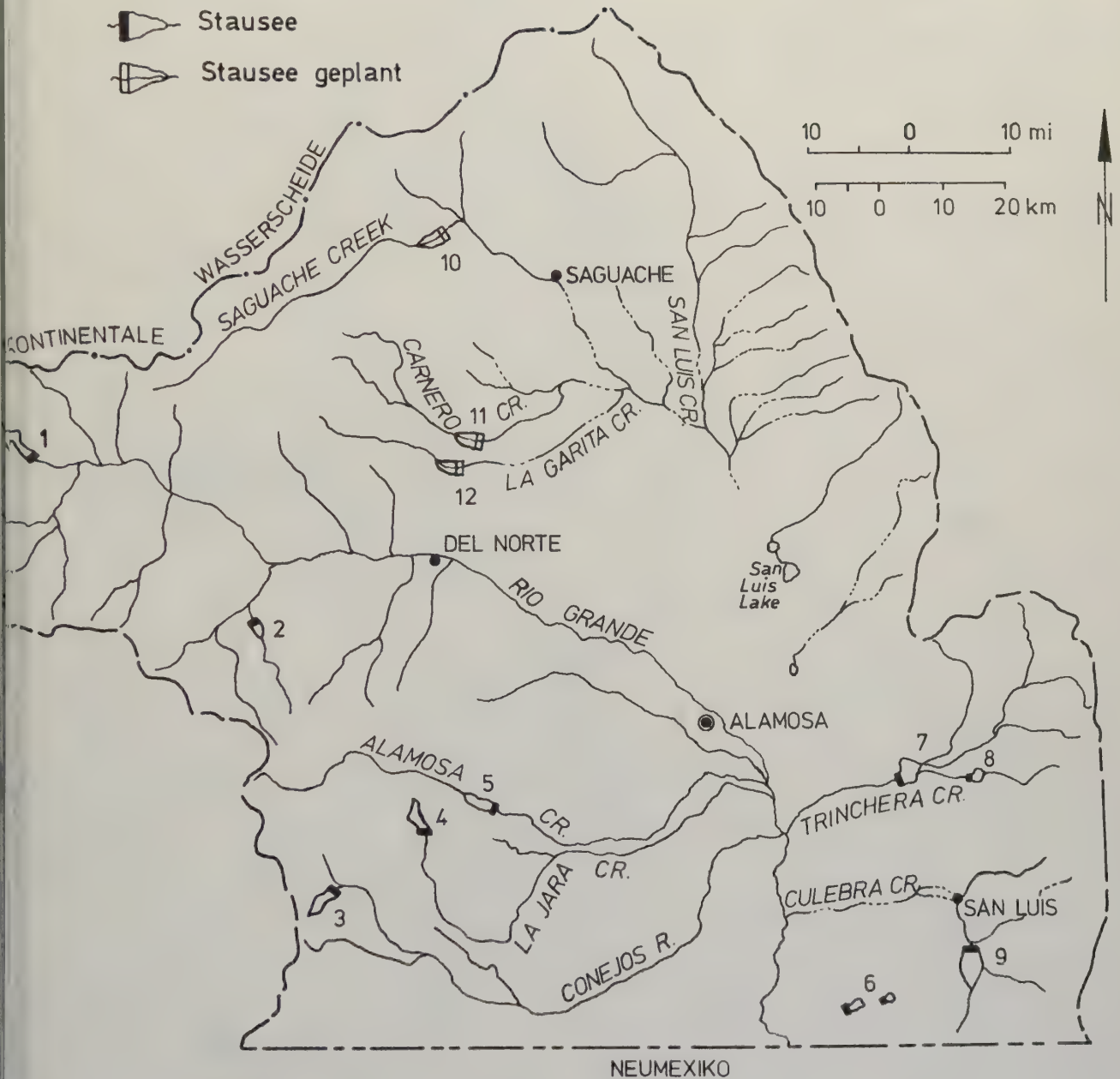
Karte 11 Das Kanalnetz
im San Luis Valley

Nach Einzelkarten und
Daten des S.L.V.I.D., des
R.G.W.C.D., des U.S.G.S.
und des U.S.B.R.

--- Entwässerungskanal — Bewässerungskanal ~ Damm

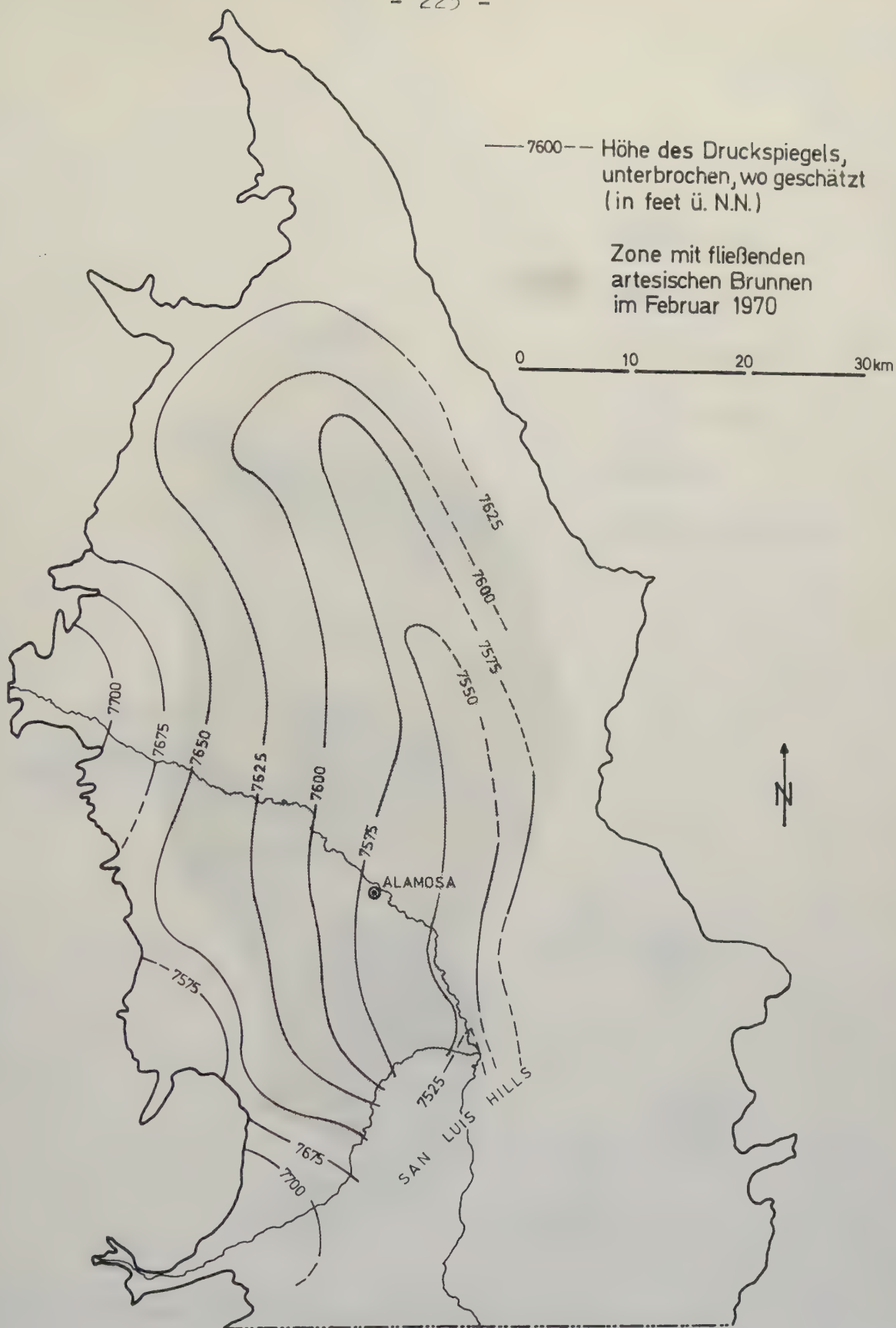
0 5 10 15 20 km

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| 1 Santa Maria | 7 Smith |
| 2 Beaver Park | 8 Mountain Home |
| 3 Platoro | 9 Sanchez |
| 4 La Jara | 10 Saguache Creek (geplant) |
| 5 Terrace | 11 Carnero Creek " " |
| 6 Eastdale (1+2) | 12 La Garita Creek " " |



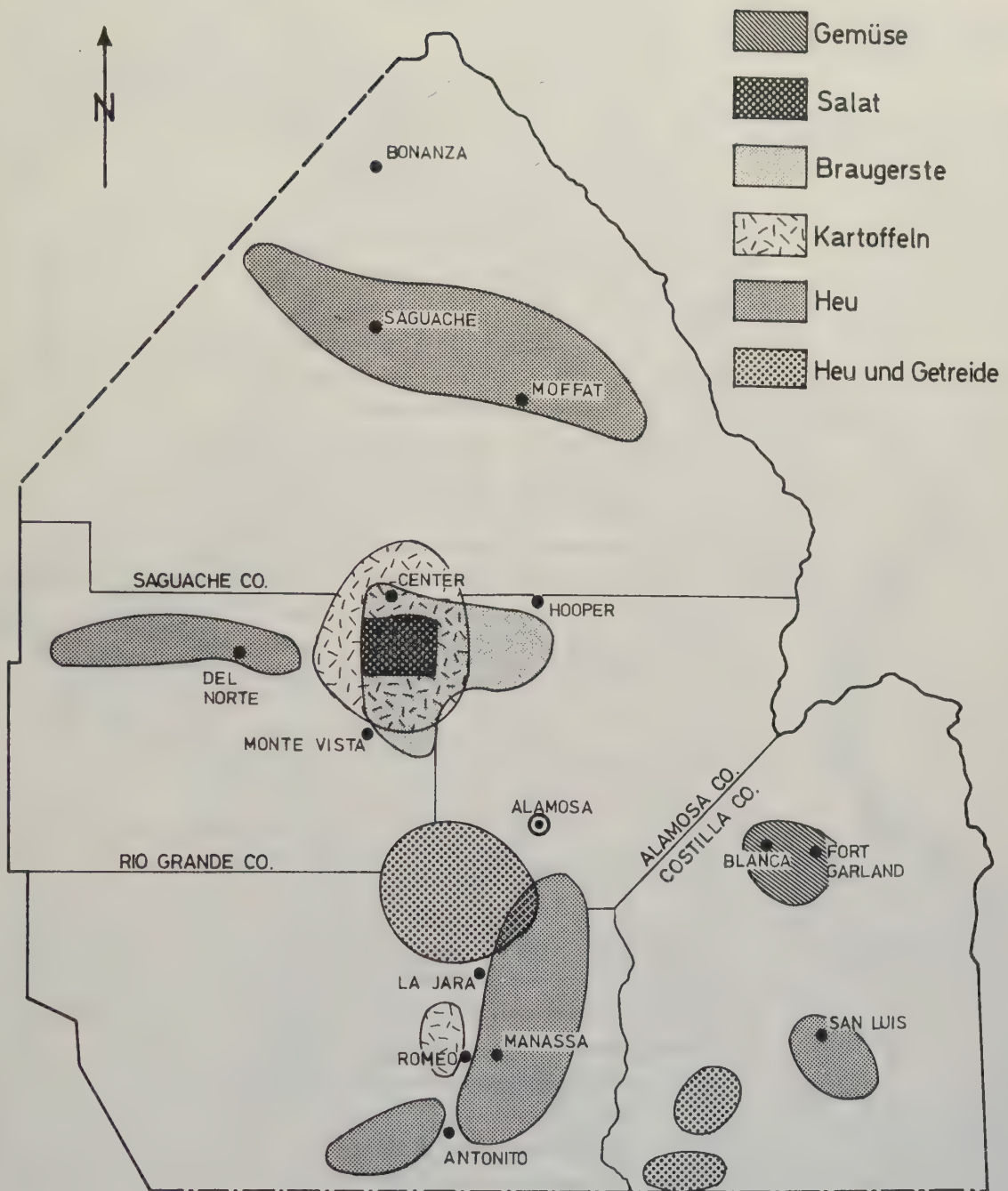
Karte 12 Die wichtigsten Stauseen im San Luis Valley

Nach Irrigation Water Management Study 1969, Karte 7



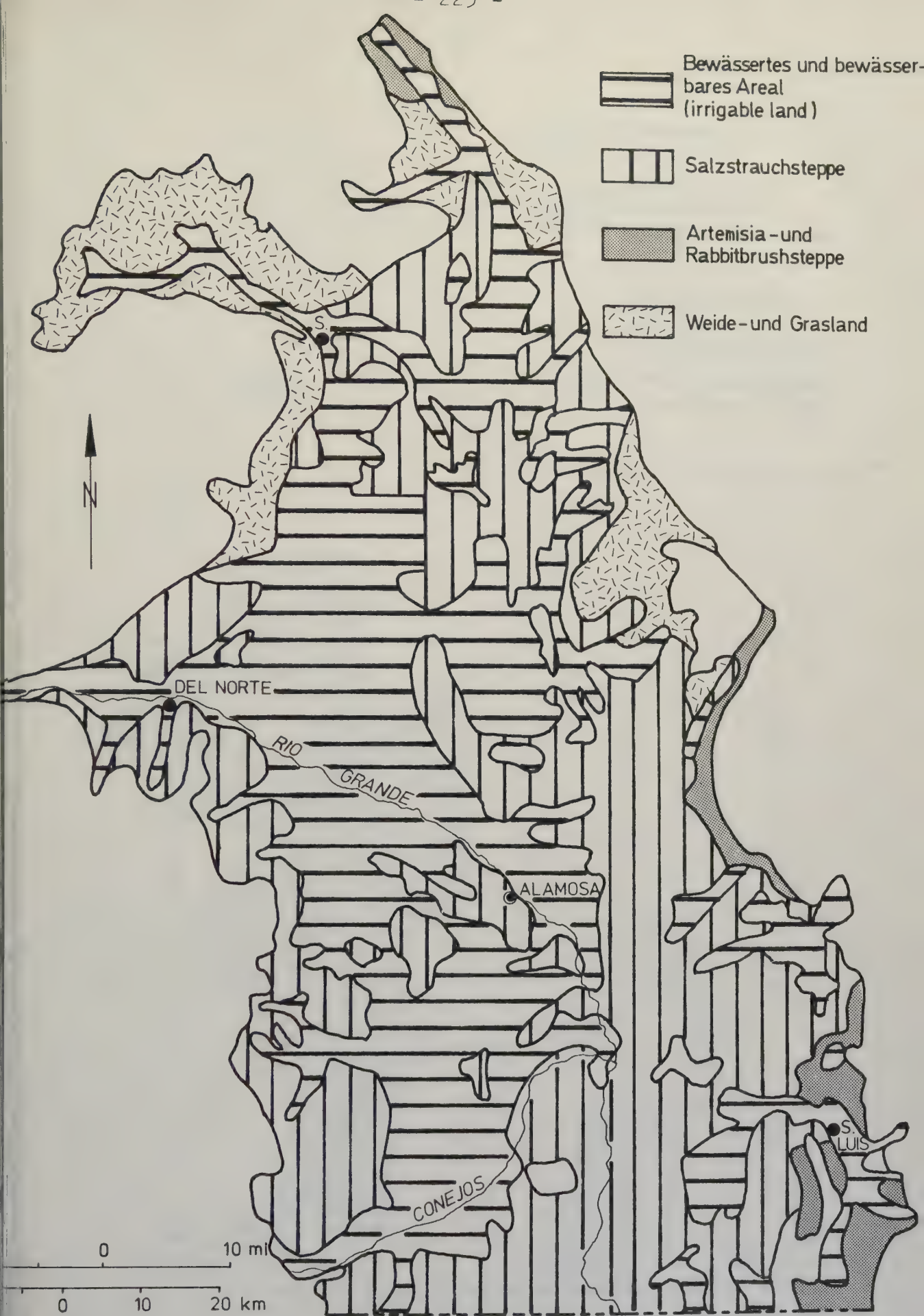
KARTE 13 DER DRUCKSPIEGEL DES ARTESISCHEN GRUNDWASSERS UND
DIE ZONE MIT FLIESSENDEN ARTESISCHEN BRUNNEN IM
SAN LUIS VALLEY

Nach Daten des C.C.L.R.S., Denver und des R.G. Joint Investigation 1938



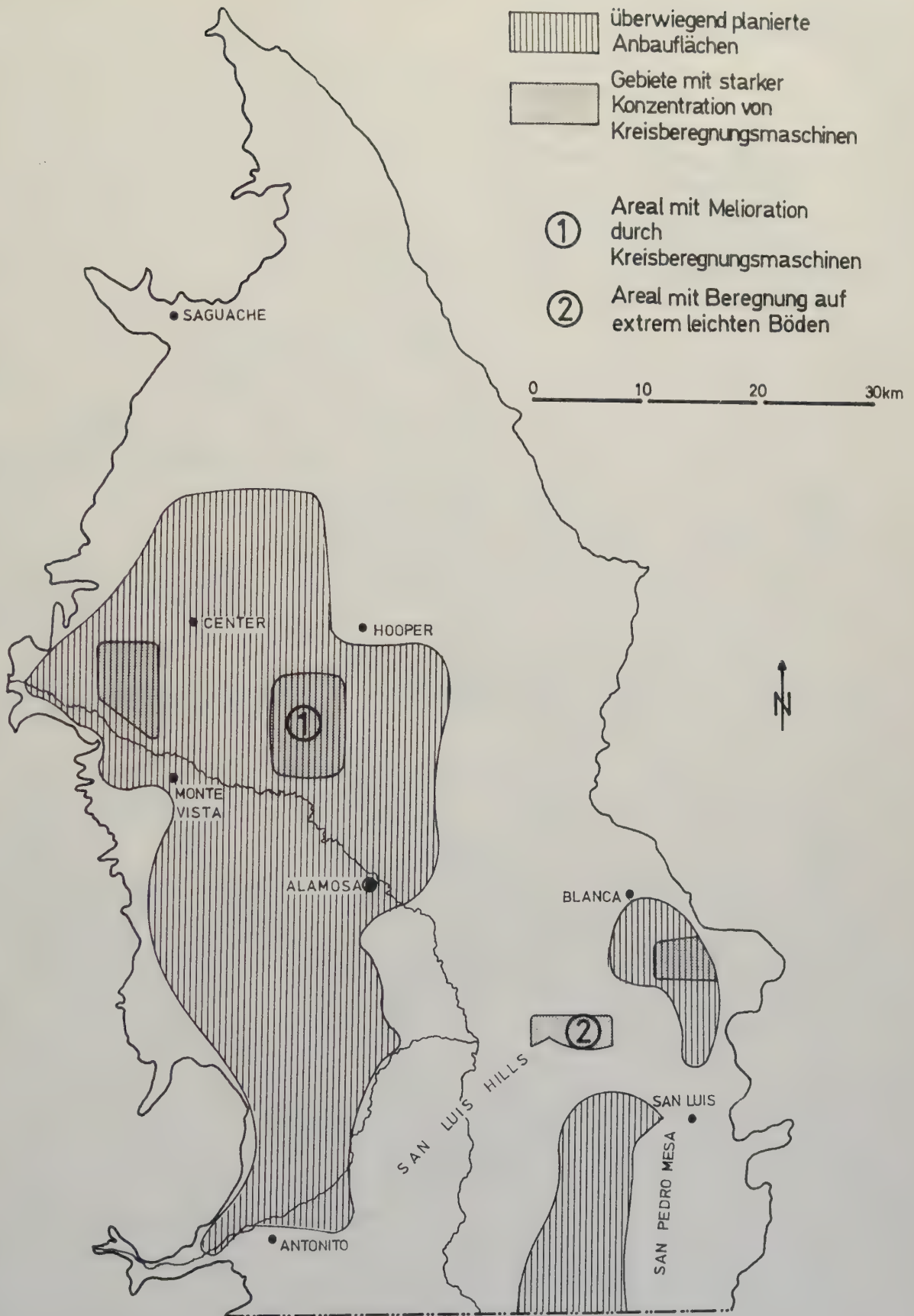
KARTE 14 DIE HAUPTANBAUZONEN IM SAN LUIS VALLEY

Nach Daten des C.C.L.R.S., Denver und des R.G. Joint Investigation 1938



Karte 15 Landnutzung im San Luis Valley

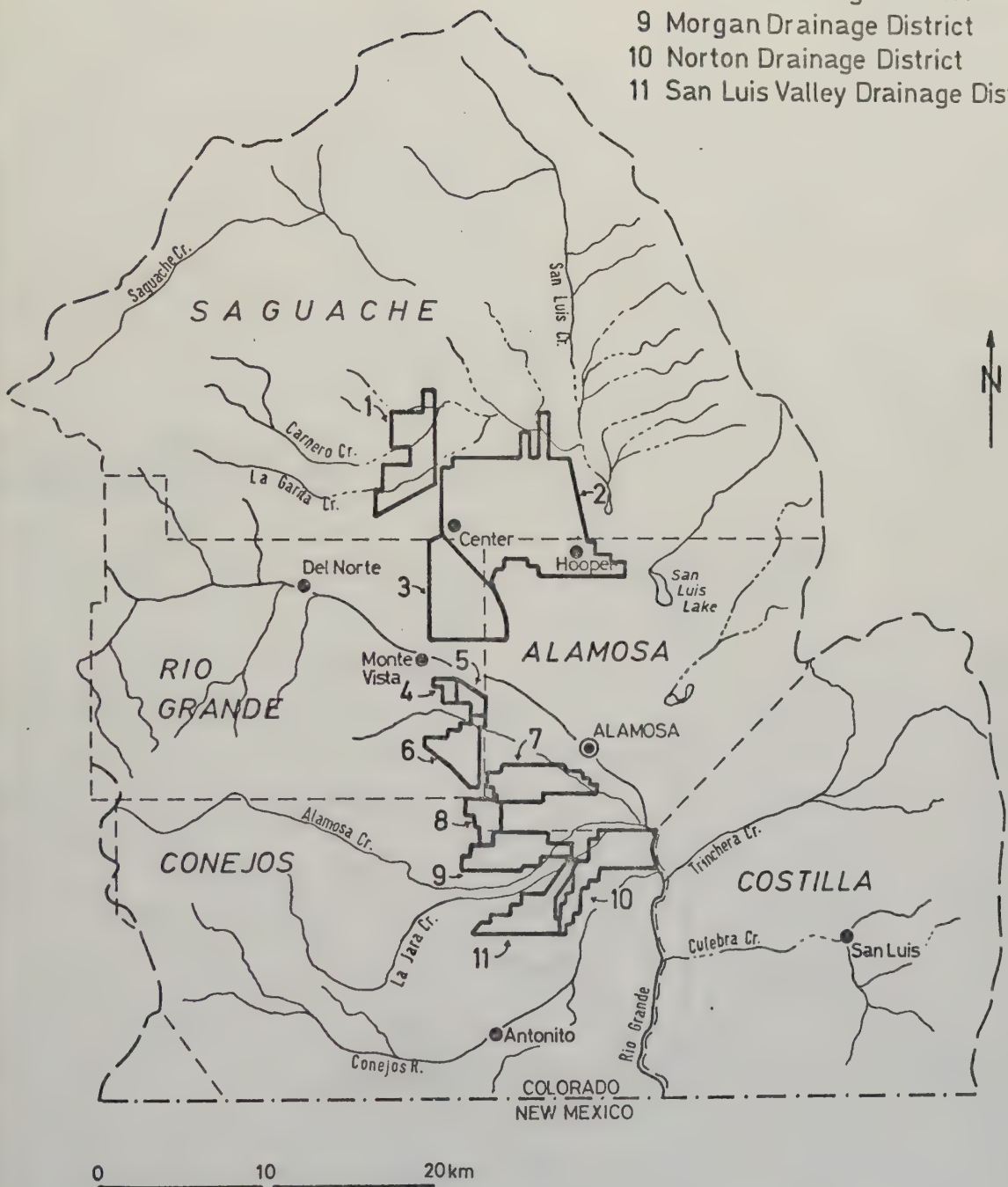
Nach S.L.V. C.O.G. 1974, Vol. II, S.316, Karte 27



KARTE 16 DIE VERBREITUNG PLANIERTER ANBAUFLÄCHEN UND
VORWIEGEND BEREGNETER GEBIETE IM SAN LUIS VALLEY

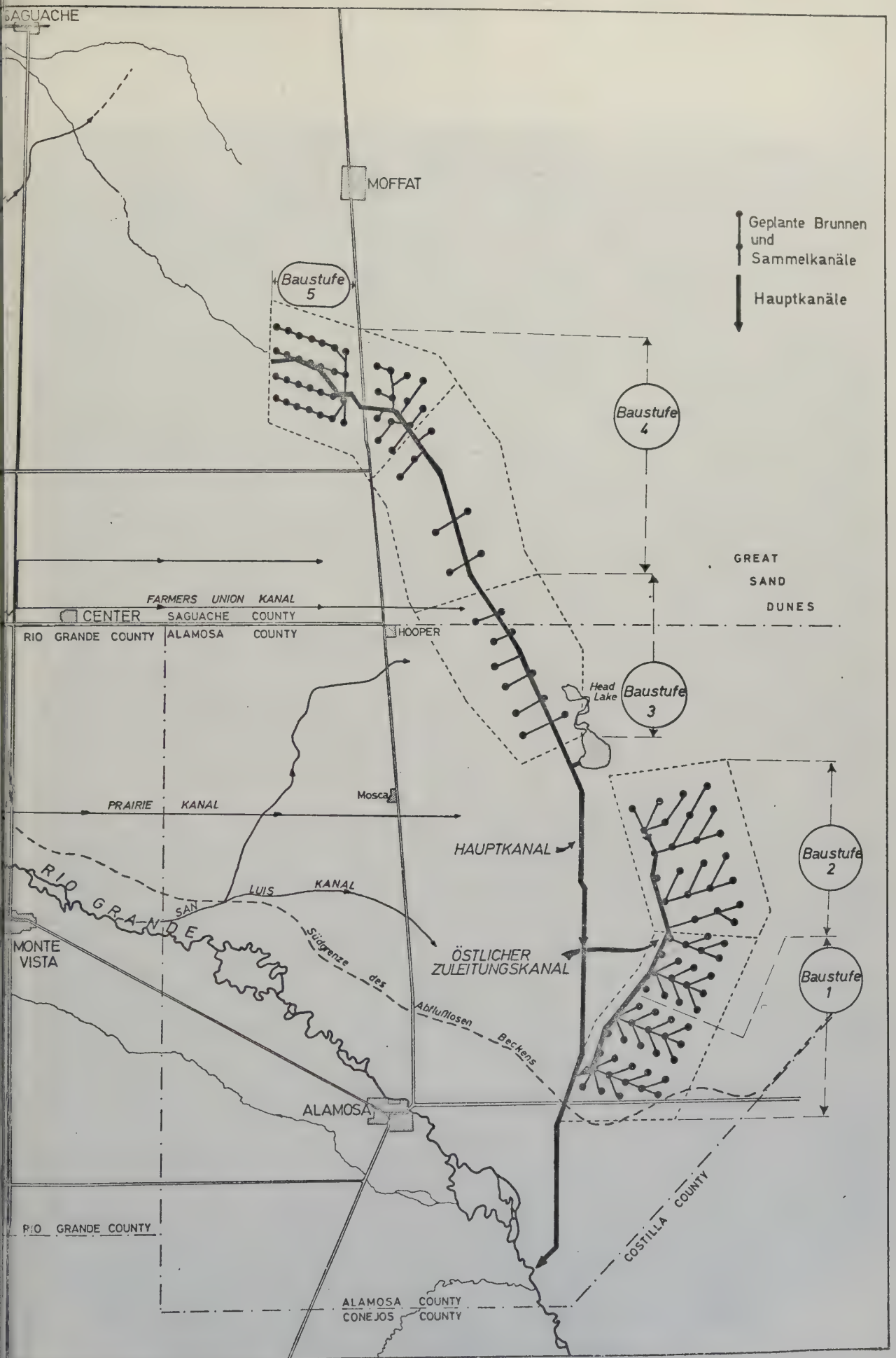
Verändert nach POWELL 1958, S. 63, Fig. 11

- 1 La Garita-Carnero Drain
- 2 San Luis Valley Irrigation District
- 3 Rio Grande Drainage District
- 4 Hallam Drain
- 5 Parma Drain
- 6 Bowen Drain
- 7 Waverly Drainage District
- 8 Carmel Drainage District
- 9 Morgan Drainage District
- 10 Norton Drainage District
- 11 San Luis Valley Drainage District



Karte 17 Die Dränagedistrikte im San Luis Valley

Nach Irrigation Water Management Study 1969, Karte 7



Karte 18

CLOSED BASIN PROJECT IM SAN LUIS VALLEY
Verändert nach U.S.B.R., Karte 253X-500-1

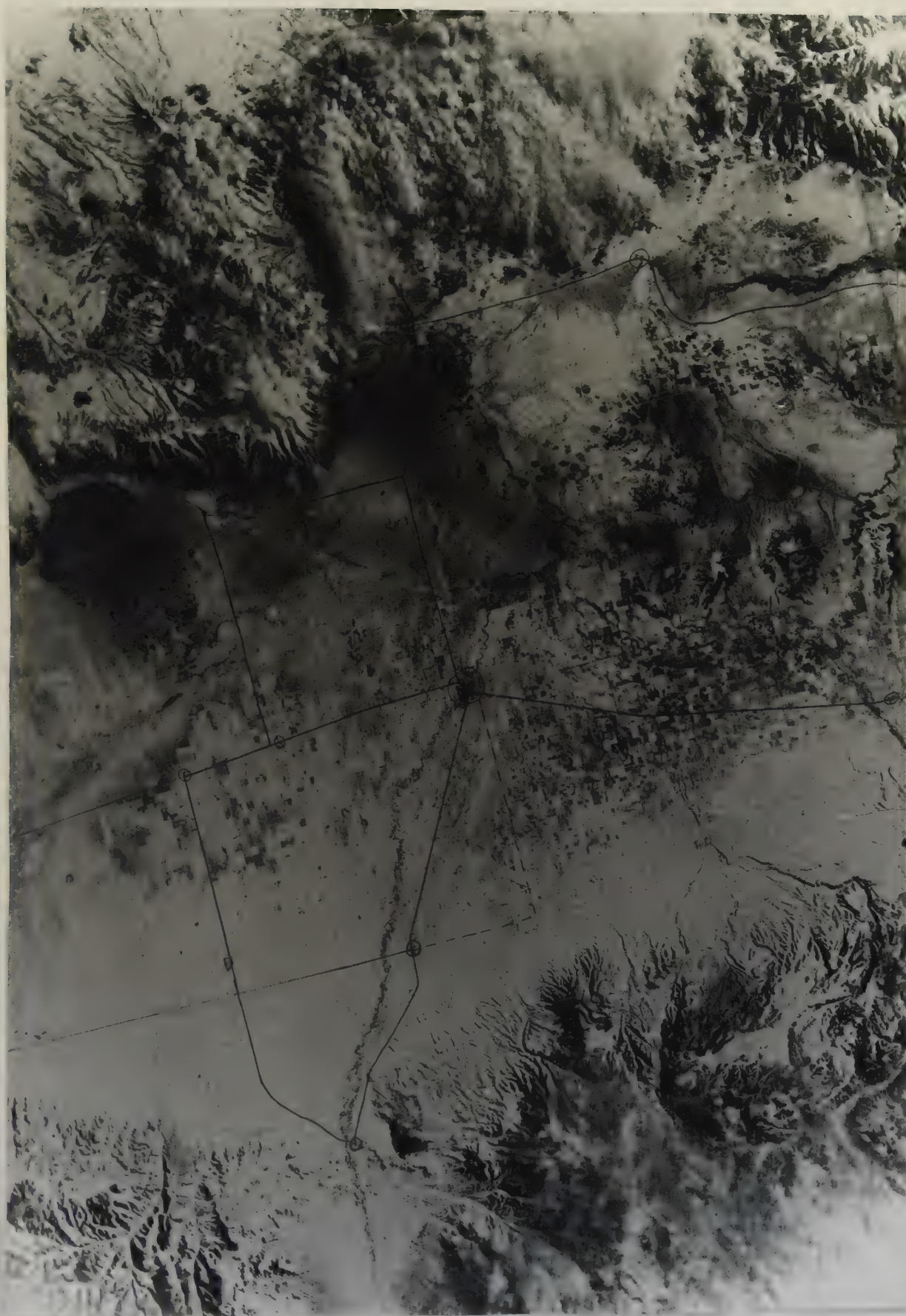


Foto 1 Satellitenaufnahme des San Luis Valley. Nach einer Vorlage des Rio Grande Water Conservation District, Alamosa.





Foto 2 Abgedichtetes Teilstück des Sanchez-Kanals mit Steuerschütz, Entnahmeschütz und Absturzbauwerk am Culebra Creek im Südosten des San Luis Valley. Im Hintergrund die San Luis Hills. Blickrichtung Westen.



Foto 3 Überflutungsbewässerung mittels Saugheber nördlich von Monte Vista in Rio Grande County. Im Hintergrund die Galeriewälder des Rio Grande. Blickrichtung Südosten.



Foto 3a Überflutungsbewässerung mit Water Buggy auf Gerstefeld nördlich von Monte Vista in Rio Grande County.



Foto 4 Furchenbewässerung auf Kartoffelfeld bei Del Norte in Rio Grande County. Im Hintergrund die Galeriewälder des Rio Grande und die Verschneidung des Trogbodens mit den Ausläufern der San Juan-Kette am Westrand des San Luis-Beckens. Blickrichtung Südwesten.



Foto 5 Unterflurbewässerung auf Kartoffelfeld nordwestlich von Alamosa. Zufuhr zum Sickergraben mittels Saugheber.



Foto 6 Unterflurbewässerung. Sickergraben mit Steuerschütz.



Foto 7 Bewässerung von Gerste mit Kreisberegnungsmaschine nördlich von Monte Vista in Rio Grande County.



Foto 8 Ablagerungen von Bodenfeinmaterial nach intensiver Winderosion östlich von Monte Vista in Rio Grande County.

Abkürzungsverzeichnis

B.R.	-	Bureau of Reclamation
C.C.L.R.S.	-	Colo.Crop and Livestock Rep.Service
C.O.G.	-	Council of Governments
C.S.U.	-	Colorado State University
G.S.	-	Geological Survey
G.W.	-	Grundwasser
P.A.C.	-	Potato Administrative Committee
R.C.& D.	-	Resource Conservation & Development
R.G.	-	Rio Grande
R.G.C.D.	-	Rio Grande Water Conservation District
S.C.S.	-	Soil Conservation Service
S.L.V.	-	San Luis Valley
S.L.V.C.O.G.	-	San Luis Valley Council of Governments
S.L.V.I.D.	-	San Luis Valley Irrigation District
S.L.V.P.A.C.	-	San Luis Valley Potato Administrative Comm.
U.S.B.R.	-	US Bureau of Reclamation
U.S.D.A.	-	US Department of Agriculture
U.S.D.I.	-	US Department of the Interior
U.S.G.S.	-	US Geological Survey

UMRECHNUNGSTABELLE

Zur Umrechnung

- englischer Maße mit dem Umrechnungsfaktor multiplizieren.
- metrischer Maße durch den Umrechnungsfaktor dividieren.

Länge

inches (in)	25,4	Millimeter (mm)
	,0254	Meter (m)
feet (ft)	,3048	Meter
yards (yd)	,9144	Meter
miles (mi)	1,609	Kilometer (km)

Fläche

acres	4047	Quadratmeter (m ²)
	,4047	Hektar (ha)
	,4047	Quadrathektometer (hm ²)
	,004047	Quadratkilometer (km ²)
square miles (mi ²)	2,590	Quadratkilometer

Raum

gallons (gal)	3,785	Liter (l)
	3,785	Kubikdezimeter (dm ³)
	3,785x10 ⁻³	Kubikmeter (m ³)
imperial gal (10 ⁶ gal)	3785	Kubikmeter
	3,785x10 ⁻³	Kubikhektometer (hm ³)
cubic feet (ft ³)	28,32	Kubikdezimeter (dm ³)
	,02832	Kubikmeter (m ³)
cfs-day (ft ³ /s-day)	2447	Kubikmeter
	2,447x10 ⁻³	Kubikhektometer (hm ³)
acre-feet (acre-ft)	1233	Kubikmeter (m ³)
	1,233x10 ⁻³	Kubikhektometer (hm ³)

Fließmaße

cubic ft per sec (ft ³ /s)	28,32	Liter pro Sekunde (l/s)
	28,32	Kubikdezimeter pro Sekunde (dm ³ /s)
	,02832	Kubikmeter pro Sekunde (m ³ /s)
gallons per minute (gpm)	,06309	Liter pro Sekunde (l/s)
	,06309	Kubikdezimeter pro Sekunde
	6,309x10 ⁻⁵	Kubikmeter pro Sekunde (m ³ /s)
imperial gal per day (mgd)	43,81	Kubikdezimeter pro Sekunde
	,04381	Kubikmeter pro Sekunde

Gewicht

ton	,9072	Tonne (t)
-----	-------	-----------

